
3 2044 010 470 565



RECUEIL

D'OBSERVATIONS ÉLECTRO-DYNAMIQUES.

Cet ouvrage se trouve aussi chez les Libraires ci-après:

BOSSANGE et C^{nie}, à Londres.
BOCCA, à Turin.
DEMAT, à Bruxelles.
DEZOER, à Liége.
GRIESHAMMER, à Leipsick.
LEVRAULT, à Strasbourg.
PERISSE, à Lyon.
PASCHOUD, à Genève.
SCHALBACHER, à Vienne.
SEVALLE, à Montpellier.
SCHELESINGER, à Berlin.

Nota. Les personnes qui auraient des exemplaires incomplets de cet ouvrage pourront, en les envoyant à un des Libraires ci-dessus, les échanger sans frais contre des exemplaires complets.

RECUEIL D'OBSERVATIONS ÉLECTRO-DYNAMIQUES,

CONTENANT

DIVERS MÉMOIRES, NOTICES, EXTRAITS DE LETTRES OU D'OUVRAGES PÉRIODIQUES SUR LES SCIENCES,

RELATIFS

A l'Action mutuelle de deux courans électriques, à celle qui existe entre un courant électrique et un aimant ou le globe terrestre, et à celle de deux aimans l'un sur l'autre;

PAR M. AMPÈRE,

Membre de l'Académie royale des Sciences (Institut de France), de la Société royale d'Edimbourg et de la Société helvétique.

A PARIS,
CHEZ CROCHARD, LIBRAIRE,
CLOÎTRE SAINT-BENOÎT, N° 16, PRÈS LA RUE DES MATHURINS.
1822.

PREMIER MÉMOIRE.

De l'Action exercée sur un courant électrique, par un autre courant, le globe terrestre ou un aimant.

par M. A. Ampère.

§ 1er. *De l'Action mutuelle de deux courans électriques.*

L'ACTION électro-motrice se manifeste par deux sortes d'effets que je crois devoir d'abord distinguer par une définition précise.

J'appellerai le premier *tension électrique*, le second *courant électrique*.

Le premier s'observe lorsque les deux corps entre lesquels l'action électro-motrice a lieu sont séparés l'un de l'autre (1) par des corps non conducteurs dans tous les points de leur surface autres que ceux où elle est établie; le second est celui où ils font, au contraire, partie d'un circuit de corps conducteurs qui les font communiquer par des points de leur surface différens de ceux où se produit ~~l'action électro-motrice~~ cette action (2). Dans le premier

---

(1) Quand cette séparation a lieu par la simple interruption des corps conducteurs, c'est encore par un corps non conducteur, par l'air, qu'ils sont séparés.

(2) Ce cas comprend celui où les deux corps ou systèmes de corps entre lesquels a lieu l'action électro-motrice, seraient en communication complète avec le réservoir commun qui ferait alors partie du circuit.

(1) ~~Quand~~ le mémoire a été présenté à l'Ac. des sciences le 2 oct. 1820; il renferme le résumé des lectures faites à l'académie par Ampère les 18 et 25 septembre et le 2 oct. 1820. J.J.

Ann. de Ch. et de Phys. [2] Tome XV. p. 59-76 et 170-218.
Recueil d'Observations électro-dynamiques, p. 1-68.

cas, l'effet de cette action est de mettre les deux corps ou les deux systèmes de corps entre lesquels elle a lieu, dans deux états de tension dont la différence est constante lorsque cette action est constante, lorsque, par exemple, elle est produite par le contact de deux substances de nature différente; cette différence serait variable, au contraire, avec la cause qui la produit, si elle était due à un frottement ou à une pression.

Ce premier cas est le seul qui puisse avoir lieu lorsque l'action électro-motrice se développe entre les diverses parties d'un même corps non conducteur; la tourmaline en offre un exemple quand elle change de température.

Dans le second cas, il n'y a plus de tension électrique, les corps légers ne sont plus sensiblement attirés, et l'électromètre ordinaire ne peut plus servir à indiquer ce qui se passe dans le corps; cependant l'action électro-motrice continue d'agir; car si de l'eau, par exemple, un acide, un alcali ou une dissolution saline font partie du circuit, ces corps sont décomposés, surtout quand l'action électro-motrice est constante, comme on le sait depuis long-temps; et en outre, ainsi que M. Œrsted vient de le découvrir, quand l'action électro-motrice est produite par le contact des métaux, l'aiguille aimantée est détournée de sa direction lorsqu'elle est placée près d'une portion quelconque du circuit; mais ces effets cessent, l'eau ne se décompose plus, et l'aiguille revient à sa position ordinaire dès qu'on interrompt le circuit, que les tensions se rétablissent, et que les corps légers sont de nouveau attirés, ce qui prouve bien que

ces tensions ne sont pas cause de la décomposition de l'eau, ni des changemens de direction de l'aiguille aimantée découverts par M. Œrsted.

Ce second cas est évidemment le seul qui pût avoir lieu si l'action électro-motrice se développait entre les diverses parties d'un même corps conducteur. Les conséquences déduites, dans ce Mémoire, des expériences de M. Œrsted nous conduiront à reconnaître l'existence de cette circonstance dans le seul cas où il y ait lieu jusqu'à présent de l'admettre.

Voyons maintenant à quoi tient la différence de ces deux ordres de phénomènes entièrement distincts, dont l'un consiste dans la tension et les attractions ou répulsions connues depuis long-temps, et l'autre dans la décomposition de l'eau et d'un grand nombre d'autres substances, dans les changemens de direction de l'aiguille, et dans une sorte d'attractions et de répulsions toutes différentes des attractions et répulsions électriques ordinaires; que je crois avoir reconnu le premier, et que j'ai nommé *attractions et répulsions des courans électriques*, pour les distinguer de ces dernières. Lorsqu'il n'y a pas continuité de conducteurs d'un des corps ou des systèmes de corps entre lesquels se développe l'action électro-motrice à l'autre, et que ces corps sont eux-mêmes conducteurs, comme dans la pile de Volta, on ne peut concevoir cette action que comme portant constamment l'électricité positive dans l'un, et l'électricité négative dans l'autre : dans le premier moment, où rien ne s'oppose à l'effet qu'elle tend à produire, les deux électricités s'accumulent chacune dans la partie du système total vers laquelle elle est portée; mais cet effet s'arrête dès que la différence des

tensions électriques (1) donne à leur attraction mutuelle, qui tend à les réunir, une force suffisante pour faire équilibre à l'action électro-motrice. Alors tout reste dans cet état, sauf la déperdition d'électricité qui peut avoir lieu peu à peu à travers le corps non conducteur, l'air, par exemple, qui interrompt le circuit; car il paraît qu'il n'existe pas de corps qui soit absolument isolant. A mesure que cette déperdition a lieu, la tension diminue; mais comme dès qu'elle est moindre l'attraction mutuelle des deux électricités cesse de faire équilibre à l'action électro-motrice, cette dernière force, dans le cas où elle est constante, porte de nouveau de l'électricité positive d'un côté, et de l'électricité négative de l'autre, et les tensions se rétablissent. C'est cet état d'un système de corps électro-moteurs et conducteurs que je nomme *tension électrique*. On sait qu'il subsiste dans les deux moitiés de ce système, soit lorsqu'on vient à les séparer, soit dans le cas même où elles restent en contact après que l'action électro-motrice a cessé, pourvu qu'alors elle ait eu lieu par pression ou par frottement entre des corps qui ne soient pas tous deux conducteurs. Dans ces deux cas, les tensions diminuent graduellement à cause de la déperdition d'électricité dont nous parlions tout-à-l'heure.

Mais lorsque les deux corps ou les deux systèmes de

---

(1) Quand la pile est isolée, cette différence est la somme des deux tensions, l'une positive, l'autre négative : quand une de ses extrémités communiquant avec le réservoir commun a une tension nulle, la même différence a une valeur absolue égale à celle de la tension à l'autre extrémité.

corps entre lesquels l'action électro-motrice a lieu sont d'ailleurs en communication par des corps conducteurs entre lesquels il n'y a pas une autre action électro-motrice égale et opposée à la première, ce qui maintiendrait l'état d'équilibre électrique, et par conséquent les tensions qui en résultent, ces tensions disparaissent ou du moins deviennent très-petites, et il se produit les phénomènes indiqués ci-dessus comme caractérisant ce second cas. Mais comme rien n'est d'ailleurs changé dans l'arrangement des corps entre lesquels se développait l'action électro-motrice, on ne peut douter qu'elle ne continue d'agir, et comme l'attraction mutuelle des deux électricités, mesurée par la différence des tensions électriques qui est devenue nulle, ou a considérablement diminué, ne peut plus faire équilibre à cette action, on est généralement d'accord qu'elle continue à porter les deux électricités dans les deux sens où elle les portait auparavant; en sorte qu'il en résulte un double courant, l'un d'électricité positive, l'autre d'électricité négative, partant en sens opposés des points où l'action électro-motrice a lieu, et allant se réunir dans la partie du circuit opposée à ces points. Les courans dont je parle vont en s'accélérant jusqu'à ce que l'inertie des fluides électriques et la résistance qu'ils éprouvent par l'imperfection même des meilleurs conducteurs fassent équilibre à la force électro-motrice, après quoi ils continuent indéfiniment avec une vitesse constante tant que cette force conserve la même intensité; mais ils cessent toujours à l'instant où le circuit vient à être interrompu. C'est cet état de l'électricité dans une série de corps électro-moteurs et conducteurs, que je nommerai, pour abréger, *courant*

électrique; et comme j'aurai sans cesse à parler des deux sens opposés suivant lesquels se meuvent les deux électricités, je sous-entendrai toutes les fois qu'il en sera question, pour éviter une répétition fastidieuse, après les mots *sens du courant électrique,* ceux-ci : de l'*électricité positive;* en sorte que s'il est question, par exemple, d'une pile voltaïque, l'expression : *direction du courant électrique dans la pile,* désignera la direction qui va de l'extrémité où l'hydrogène se dégage dans la décomposition de l'eau, à celle où l'on obtient de l'oxigène; et celle-ci : *direction du courant électrique dans le conducteur qui établit la communication entre les deux extrémités de la pile,* désignera la direction qui va, au contraire, de l'extrémité où se produit l'oxigène à celle où se développe l'hydrogène. Pour embrasser ces deux cas dans une seule définition, on peut dire que ce qu'on appelle la direction du courant électrique est celle que suivent l'hydrogène et les bases des sels, lorsque de l'eau ou une substance saline fait partie du circuit et est décomposée par le courant, soit, dans la pile voltaïque, que ces substances fassent partie du conducteur, ou qu'elles se trouvent interposées entre les paires dont se compose la pile.

Les savantes recherches de MM. Gay-Lussac et Thenard sur cet appareil, source féconde des plus grandes découvertes dans presque toutes les branches des sciences physiques, ont démontré que la décomposition de l'eau, des sels, etc. n'est nullement produite par la différence de tension des deux extrémités de la pile, mais uniquement par ce que je nomme *le courant électrique,* puisqu'en faisant plonger dans l'eau pure les deux fils con-

ducteurs la décomposition est presque nulle ; tandis que quand, sans rien changer à la disposition du reste de l'appareil, on mêle à l'eau où plongent les fils un acide ou une dissolution saline, cette décomposition devient très-rapide, parce que l'eau pure est un mauvais conducteur, et qu'elle conduit bien l'électricité quand elle est mêlée d'une certaine quantité de ces substances.

Or, il est bien évident que la tension électrique des extrémités des fils qui plongent dans le liquide ne saurait être augmentée dans le second cas; elle ne peut qu'être diminuée à mesure que ce liquide devient meilleur conducteur ; ce qui augmente dans ce cas, c'est le courant électrique ; c'est donc à lui seul qu'est due la décomposition de l'eau et des sels. Il est aisé de constater que c'est lui seul aussi qui agit sur l'aiguille aimantée dans les expériences de M. Œrsted. Il suffit pour cela de placer une aiguille aimantée sur une pile horizontale dont la direction soit à-peu-près dans le méridien magnétique; tant que ses extrémités ne communiquent point, l'aiguille conserve sa direction ordinaire. Mais si l'on attache à l'une d'elles un fil métallique, et qu'on en mette l'autre extrémité en contact avec celle de la pile, l'aiguille change subitement de direction, et reste dans sa nouvelle position tant que dure le contact et que la pile conserve son énergie ; ce n'est qu'à mesure qu'elle la perd, que l'aiguille se rapproche de sa direction ordinaire; au lieu que si on fait cesser le courant électrique en interrompant la communication, elle y revient à l'instant. Cependant c'est cette communication même qui fait cesser ou diminue considérablement les tensions

électriques ; ce ne peut donc être ces tensions, mais seulement le courant qui influe sur la direction de l'aiguille aimantée. Lorsque de l'eau pure fait partie du circuit, et que la décomposition en est à peine sensible, l'aiguille aimantée placée au-dessus ou au-dessous d'une autre portion du circuit est aussi faiblement déviée ; l'acide nitrique qu'on mêle à cette eau, sans rien changer d'ailleurs à l'appareil, augmente cette déviation en même temps qu'elle rend plus rapide la décomposition de l'eau.

Pl. 3

L'électromètre ordinaire indique quand il y a tension et l'intensité de cette tension ; il manquait un instrument qui fît connaître la présence du courant électrique dans une pile ou un conducteur, qui en indiquât l'énergie et la direction. Cet instrument existe aujourd'hui ; il suffit que la pile ou une portion quelconque du conducteur soient placées horizontalement à-peu-près dans la direction du méridien magnétique, et qu'un appareil semblable à une boussole, et qui n'en diffère que par l'usage qu'on en fait, soit mis sur la pile, ou bien au-dessous ou au-dessus de cette portion du conducteur : tant qu'il y a quelque interruption dans le circuit, l'aiguille aimantée reste dans sa situation ordinaire ; mais elle s'écarte de cette situation, dès que le courant s'établit, d'autant plus que l'énergie en est plus grande, et elle en fait connaître la direction d'après ce fait général, que si l'on se place par la pensée dans la direction du courant, de manière qu'il soit dirigé des pieds à la tête de l'observateur, et que celui-ci ait la face tournée vers l'aiguille ; c'est constamment à sa gauche que l'action du courant écartera de sa position ordinaire celle de ses extrémités qui se dirige vers le nord, et que je nommerai toujours *pole austral*

de l'aiguille aimantée, parce que c'est le pole homologue au pole austral de la terre. C'est ce que j'exprimerai plus brièvement en disant que le pole austral de l'aiguille est portée à gauche du courant qui agit sur l'aiguille. Je pense que pour distinguer cet instrument de l'électromètre ordinaire, on doit lui donner le nom de *galvanomètre*, et qu'il convient de l'employer dans toutes les expériences sur les courans électriques, comme on adapte habituellement un électromètre aux machines électriques, afin de voir à chaque instant si le courant a lieu, et quelle en est l'énergie.

Le premier usage que j'aie fait de cet instrument a été de l'employer à constater que le courant qui existe dans la pile voltaïque, de l'extrémité négative à l'extrémité positive, avait sur l'aiguille aimantée la même influence que le courant du conducteur qui va, au contraire, de l'extrémité positive à la négative.

Il est bon d'avoir pour cela deux aiguilles aimantées, l'une placée sur la pile et l'autre au-dessus ou au-dessous du conducteur; on voit le pole austral de chaque aiguille se porter à gauche du courant près duquel elle est placée; en sorte que quand la seconde est au-dessus du conducteur, elle est portée du côté opposé à celui vers lequel tend l'aiguille posée sur la pile, à cause que les courans ont des directions opposées dans ces deux portions du circuit; les deux aiguilles sont, au contraire, portées du même côté, en restant à-peu-près parallèles entre elles, quand l'une est au-dessus de la pile et l'autre au-dessous du conducteur (1). Dès qu'on inter-

(1) Pour que cette expérience ne laisse aucun doute sur l'action du courant qui est dans la pile, il convient de la faire

rompt le circuit, elles reviennent aussitôt, dans les deux cas, à leur position ordinaire.

Telles sont les différences reconnues avant moi entre les effets produits par l'électricité dans les deux états que je viens de décrire, et dont l'un consiste sinon dans le repos, du moins dans un mouvement lent et produit seulement par la difficulté d'isoler complètement les corps où se manifeste la tension électrique, l'autre dans un double courant d'électricité positive et négative le long d'un circuit continu de corps conducteurs. On conçoit alors, dans la théorie ordinaire de l'électricité, que les deux fluides dont on la considère comme composée, sont sans cesse séparés l'un de l'autre dans une partie du circuit, et portés rapidement en sens contraire dans une autre partie du même circuit où ils se réunissent continuellement. Quoique le courant électrique ainsi défini puisse être produit avec une machine ordinaire, en la disposant de manière à développer les deux électricités, et en joignant par un conducteur les deux parties de l'appareil où elles se produisent, on ne peut, à moins de se servir de très-grandes machines, obtenir ce courant avec une certaine énergie qu'à l'aide de la pile voltaïque, parce que la quantité de l'électricité produite par la machine à frottement reste la même dans un temps donné, quelle que soit la faculté conductrice du reste du circuit, au lieu que celle que la

---

comme je l'ai faite avec une pile à auges dont les plaques de zinc soient soudées à celles de cuivre par toute l'étendue d'une de leurs faces, et non pas simplement par une branche de métal qu'on pourrait regarder avec raison comme une portion de conducteur.

pile met en mouvement pendant un même temps croît indéfiniment à mesure que l'on en réunit les deux extrémités par un meilleur conducteur. (1)

Mais les différences que je viens de rappeler ne sont pas les seules qui distinguent ces deux états de l'électricité. J'en ai découvert de plus remarquables encore en disposant, dans des directions parallèles, deux parties rectilignes de deux fils conducteurs joignant les extrémités de deux piles voltaïques; l'une était fixe, et l'autre, suspendue sur des pointes et rendue très-mobile par un contre-poids, pouvait s'en approcher ou s'en éloigner en conservant son parallélisme avec la première. J'ai observé alors qu'en faisant passer à la fois un courant électrique dans chacune d'elles, elles s'attiraient mutuellement quand les deux courans étaient dans le même sens, et qu'elles se repoussaient quand ils avaient lieu dans des directions opposées.

Or, ces attractions et répulsions des courans électriques diffèrent essentiellement de celles que l'électricité produit dans l'état de repos; d'abord, elles cessent comme les décompositions chimiques, à l'instant où l'on interrompt le circuit des corps conducteurs. Secondement, dans les attractions et répulsions électriques ordinaires, ce sont les électricités d'espèces opposées qui s'attirent, et celles de même nom se repoussent; dans les attractions et répulsions des courans électriques, c'est précisément le contraire, c'est lorsque les deux fils conducteurs sont placés parallèlement, de manière que les extrémités de même nom se trouvent du même côté et très-près l'une de l'autre, qu'il y a attraction, et il y a répulsion quand les deux conducteurs étant

(1) Voir à la suite du mémoire une note d'ampère sur ce sujet (1824). J.J.

toujours parallèles, les courans sont en sens opposés, en sorte que les extrémités de même nom se trouvent à la plus grande distance possible. Troisièmement, dans le cas où c'est l'attraction qui a lieu, et qu'elle est assez forte pour amener le conducteur mobile en contact avec le conducteur fixe, ils restent attachés l'un à l'autre comme deux aimans, et ne se séparent point aussitôt, comme il arrive lorsque deux corps conducteurs qui s'attirent parce qu'ils sont électrisés, l'un positivement, l'autre négativement, viennent à se toucher. Enfin, et il paraît que cette dernière circonstance tient à la même cause que la précédente, deux courans électriques s'attirent ou se repoussent dans le vide comme dans l'air; ce qui est encore contraire à ce qu'on observe dans l'action mutuelle de deux corps conducteurs électrisés à l'ordinaire. Il ne s'agit pas ici d'expliquer ces nouveaux phénomènes, les attractions et répulsions qui ont lieu entre deux courans parallèles, suivant qu'ils sont dirigés dans le même sens ou dans des sens opposés, sont des faits donnés par une expérience aisée à répéter. Il est nécessaire, pour prévenir dans cette expérience les mouvemens qu'imprimeraient au conducteur mobile les petites agitations de l'air, de placer l'appareil sous une cage en verre sous laquelle on fait passer, dans le socle qui la porte, les portions des conducteurs qui doivent communiquer avec les deux extrémités de la pile. La disposition la plus commode de ces conducteurs est d'en placer un sur deux appuis dans une situation horizontale où il est immobile, de suspendre l'autre par deux fils métalliques qui font corps avec lui, à un axe de verre qui se trouve au-dessus du premier conducteur, et

qui repose, par des pointes d'acier très-fines, sur deux autres appuis de métal; ces pointes sont soudées aux deux extrémités des fils métalliques dont je viens de parler; en sorte que la communication s'établit par les appuis à l'aide de ces pointes. (*Voyez* la figure de cet appareil, planc. 1, fig. 1.) (1)

Les deux conducteurs se trouvent ainsi parallèles, et à coté l'un de l'autre, dans un même plan horizontal; l'un d'eux est mobile par les oscillations qu'il peut faire autour de la ligne horizontale passant par les extrémités des deux pointes d'acier, et, dans ce mouvement, il reste nécessairement parallèle au conducteur fixe.

On ajoute au-dessus et au milieu de l'axe de verre un contre-poids, pour augmenter la mobilité de la partie de l'appareil susceptible d'ociller, en en élevant le centre de gravité.

J'avais cru d'abord qu'il faudrait établir le courant électrique dans les deux conducteurs au moyen de deux piles différentes; mais cela n'est pas nécessaire, il suffit que ces conducteurs fassent tous deux partie du même circuit; car le courant électrique y existe par-tout avec la même intensité. On doit conclure de cette observation que les tensions électriques des deux extrémités de la pile ne sont pour rien dans les phénomènes dont nous nous occupons; car il n'y a certainement pas de tension dans le reste du circuit. Ce qui est encore confirmé par la possibilité de faire mouvoir l'aiguille aimantée à une grande distance de la pile, au moyen d'un conducteur très-long dont le milieu se recourbe dans la direction du méridien magnétique au-dessus ou au-dessous de l'aiguille. Cette expérience m'a été indiquée par le savant

illustre auquel les sciences physico-mathématiques doivent surtout les grands progrès qu'elles ont faits de nos jours : elle a pleinement réussi.

Désignons par *A* et *B* les deux extrémités du conducteur fixe, par *C* celle du conducteur mobile qui est du côté de *A*, et par *D* celle du même conducteur qui est du côté de *B*; il est clair que si une des extrémités de la pile est mise en communication avec *A*, *B* avec *C*, et *D* avec l'autre extrémité de la pile, le courant électrique sera, dans le même sens, dans les deux conducteurs; c'est alors qu'on les verra s'attirer : si, au contraire, *A* communiquant toujours à une extrémité de la pile, *B* communique avec *D*, et *C* avec l'autre extrémité de la pile, le courant sera en sens opposé dans les deux conducteurs, et c'est alors qu'ils se repousseront.

L'instrument dont je me sers pour faire cette expérience, représenté planc. 1re, fig. 1re, est placé sur un socle *mn*, auquel est attaché le cadre qui porte la cage de verre destinée à mettre tout l'appareil à l'abri des petites agitations de l'air. Au dehors de cette cage, j'ai disposé quatre coupes en buis *R*, *S*, *T*, *U* (1), pour y

---

(1) Il est préférable, quoique cela ne soit pas nécessaire au succès des expériences, d'isoler ces coupes comme je l'ai fait depuis dans d'autres appareils, parce que, quoique le buis soit un assez mauvais conducteur pour qu'il n'y ait qu'une petite partie du courant électrique qui puisse s'établir à travers ce corps, quelques observations me portent à soupçonner qu'il y en a quelques portions qui prennent cette route, surtout quand l'air est humide, et qu'on a par conséquent des effets un peu plus grands quand les coupes sont isolées, ou, ce qui est plus simple et revient au même, quand elles sont remplacées par de petits vases de verre.

mettre du mercure dans lequel plongent des fils de laiton qui traversent le cadre sur lequel elle repose, et qui sont soudés aux quatre supports *M*, *N*, *P*, *Q*, dont les deux premiers portent le conducteur fixe *AB*, qu'on peut éloigner ou rapprocher de l'autre, en faisant glisser ces supports dans les fentes *I*, *J*, où on les fixe à volonté au moyen d'écrous placés sous le socle, et les deux autres *P*, *Q* sont terminées par les chapes en acier *X*, *Y*, assez grandes pour retenir les globules de mercure qu'on y place, et où plongent deux pointes d'acier attachées aux boites en cuivre *E*, *F*, dans lesquelles entrent les deux extrémités d'un tube de verre *OZ* portant à son milieu une autre boîte en cuivre à laquelle est soudé un tube de cuivre *V* dans lequel entre à frottement la tige d'un contre-poids *H*; cette tige est coudée, comme on le voit dans la figure, afin de faire varier la position du centre de gravité de toute la partie mobile de l'appareil, en faisant tourner la tige coudée sur elle-même dans le tube de cuivre. On peut approcher ou éloigner ces supports l'un de l'autre en les faisant glisser dans la fente *KL*, où on les fixe à la distance qu'on veut, à l'aide d'écrous placés sous le socle. Aux deux boîtes de cuivre *E*, *F*, sont soudées les deux extrémités du fil de laiton *ECDF*, dont la partie *CD*, parallèle à *AB*, est ce que j'ai nommé le *conducteur mobile.*

Quand on veut faire usage de cet appareil, après avoir fixé les deux supports *P*, *Q*, à une distance telle que les centres des chapes *X*, *Y* correspondent aux pointes d'acier portées par les boîtes *E*, *F*, et les supports *M*, *N*, à la distance des deux premiers qu'on juge la plus convenable, on place ces pointes d'acier dans les

chapes, et on fait tourner la tige du contre-poids *H*, dans le cylindre creux *V*, jusqu'à ce que le conducteur mobile reste de lui-même dans la position qu'on veut lui donner, les branches *EC*, *FD*, qui en font partie, étant à-peu-près verticales; alors, si l'on veut mettre en évidence l'attraction des deux courans lorsqu'ils ont lieu dans le même sens, on établit, par un fil de laiton passant par-dessous l'instrument, et dont les extrémités se recourbent pour plonger dans deux des coupes de buis, telles que *R* et *U* ou *S* et *T*, la communication entre des extrémités opposées des deux conducteurs *AB*, *CD*, et on fait communiquer les deux coupes restantes avec les extrémités de la pile, par deux autres fils de laiton. Si c'est la répulsion qu'on se propose d'observer, il faut que le premier fil de laiton établisse la communication entre deux coupes telles que *R* et *S* ou *T* et *U* correspondantes à des extrémités des deux conducteurs situées du même côté, tandis qu'on fait communiquer avec les extrémités de la pile les deux coupes placées du côté opposé.

Pl. 4

Ces coupes donnent, quand on le veut, le moyen de n'établir le courant électrique que dans un seul conducteur, en plongeant les deux fils partant des extrémités de la pile dans le mercure des deux coupes qui communiquent avec ce conducteur. Cette disposition de quatre coupes de buis arrangées de cette manière, se retrouvant dans plusieurs appareils que j'aurai bientôt à décrire, je l'explique ici une fois pour toutes, et je me contenterai de les représenter dans les figures de ces instrumens, sans en parler dans le texte, pour éviter des répétitions inutiles.

On conçoit, au reste, que les attractions et répulsions des courans électriques ayant lieu à tous les points du circuit, on peut avec un seul conducteur fixe attirer et repousser autant de conducteurs et faire varier la direction d'autant d'aiguilles aimantées que l'on veut : je me propose de faire construire deux conducteurs mobiles sous une même cage de verre, en sorte qu'en les rendant, ainsi qu'un conducteur fixe commun, partie d'un même circuit, ils soient alternativement tous deux attirés, tous deux repoussés, ou l'un attiré, l'autre repoussé en même temps, suivant la manière dont on établira les communications. D'après le succès de l'expérience que m'a indiquée M. le marquis de Laplace, on pourrait, au moyen d'autant de fils conducteurs et d'aiguilles aimantées qu'il y a de lettres, et en plaçant chaque lettre sur une aiguille différente, établir à l'aide d'une pile placée loin de ces aiguilles, et qu'on ferait communiquer alternativement par ses deux extrémités à celles de chaque conducteur, former une sorte de télégraphe propre à écrire tous les détails qu'on voudrait transmettre, à travers quelques obstacles que ce fût, à la personne chargée d'observer les lettres placées sur les aiguilles. En établissant sur la pile un clavier dont les touches porteraient les mêmes lettres et établiraient la communication par leur abaissement, ce moyen de correspondance pourrait avoir lieu avec assez de facilité, et n'exigerait que le temps nécessaire pour toucher d'un côté et lire de l'autre chaque lettre (1).

---

(1) Depuis la rédaction de ce Mémoire, j'ai su de M. Arago que ce télégraphe avait déjà été proposé par M. Sœmmering :

Si le conducteur mobile, au lieu d'être assujetti à se mouvoir parallèlement à celui qui est fixe, ne peut que tourner dans un plan parallèle à ce conducteur fixe, autour d'une perpendiculaire commune passant par leurs milieux, il est clair que, d'après la loi que nous venons de reconnaître pour les attractions et répulsions des courans électriques, les deux moitiés de chaque conducteur attireront et repousseront celles de l'autre, suivant que les courans seront dans le même sens ou dans des sens opposés; et par conséquent que le conducteur mobile tournera jusqu'à ce qu'il arrive dans une situation où il soit parallèle à celui qui est fixe, et où les courans soient dirigés dans le même sens : d'où il suit que dans l'action mutuelle de deux courans électriques, l'action directrice et l'action attractive ou répulsive dépendent d'un même principe, et ne sont que des effets différens d'une seule et même action. Il n'est plus nécessaire alors d'établir entre ces deux effets la distinction qu'il est si important de faire, comme nous le verrons tout-à-l'heure, quand il s'agit de l'action mutuelle d'un courant électrique et d'un aimant considéré comme on le fait ordinairement par rapport à son axe, parce que, dans cette action, les deux corps tendent à se placer dans des directions perpendiculaires entre elles.

J'examinerai, dans les autres paragraphes de ce Mémoire et dans le Mémoire suivant, l'action mutuelle entre

---

à cela près qu'au lieu d'observer le changement de direction des aiguilles aimantées, qui n'était point connu alors, l'auteur proposait d'observer la décomposition de l'eau dans autant de vases qu'il y a de lettres.

un courant électrique et le globe terrestre ou un aimant, ainsi que celle de deux aimans l'un sur l'autre, et je montrerai qu'elles rentrent l'une et l'autre dans la loi de l'action mutuelle de deux courans électriques que je viens de faire connaître, en concevant sur la surface et dans l'intérieur d'un aimant autant de courans électriques, dans des plans perpendiculaires à l'axe de cet aimant, qu'on y peut concevoir de lignes formant, sans se couper mutuellement, des courbes fermées ; en sorte qu'il ne me paraît guère possible, d'après le simple rapprochement des faits, de douter qu'il n'y ait réellement de tels courans autour de l'axe des aimans, ou plutôt que l'aimantation ne consiste que dans l'opération par laquelle on donne aux particules de l'acier la propriété de produire, dans le sens des courans dont nous venons de parler, la même action électromotrice qui se trouve dans la pile voltaïque, dans le zinc oxidé des minéralogistes, dans la tourmaline échauffée, et même dans une pile formée de cartons mouillés et de disques d'un même métal à deux températures différentes. Seulement cette action électromotrice se développant dans le cas de l'aimant entre les différentes particules d'un même corps bon conducteur, elle ne peut jamais, comme nous l'avons fait remarquer plus haut, produire aucune tension électrique, mais seulement un courant continu semblable à celui qui aurait lieu dans une pile voltaïque rentrant sur elle-même en formant une courbe fermée : il est assez évident, d'après les observations précédentes, qu'une pareille pile ne pourrait produire en aucun de ses points ni tensions ni attractions ou répulsions électriques ordinaires, ni phénomènes chimi-

ques, puisqu'il est alors impossible d'interposer un liquide dans le circuit; mais que le courant qui s'établirait immédiatement dans cette pile agirait, pour le diriger, l'attirer ou le repousser, soit sur un autre courant électrique, soit sur un aimant que l'on considère alors comme n'étant lui-même qu'un assemblage de courans électriques.

C'est ainsi qu'on parvient à ce résultat inattendu, que les phénomènes de l'aimant sont uniquement produits par l'électricité, et qu'il n'y a aucune autre différence entre les deux poles d'un aimant, que leur position à l'égard des courans dont se compose l'aimant, en sorte que le pole austral (1) est celui qui se trouve à droite de ces courans, et le pole boréal celui qui se trouve à gauche.

Avant de m'occuper de ces recherches, de décrire les expériences que j'ai faites sur ces divers genres d'action, et d'en déduire les conséquences que je viens d'indiquer, je crois devoir compléter le sujet que je traite ici en exposant les nouveaux résultats que j'ai obtenus depuis que ce qui précède a été publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*. Ces résultats ont été communiqués à l'Académie des Sciences, dans deux Mémoires, dont l'un a été lu le 9 octobre et l'autre le 6 novembre.

La première expérience que j'aie ajoutée à celles que

---

(1) Celui qui, dans l'aiguille aimantée, se dirige du côté du nord; il est à droite des courans dont se compose l'aimant, parce qu'il est à gauche d'un courant dirigé dans le même sens et placé hors de l'aiguille; en effet, d'après la définition donnée précédemment de ce qu'on doit entendre par la droite et la gauche des courans électriques, ceux que j'admets dans l'aiguille et ceux qui sont ainsi placés, et que l'on considère comme agissant sur elle, se font face de manière que la droite des uns est à la gauche des autres, et réciproquement.

je viens de décrire a été faite avec l'instrument représenté pl. 1re, fig. 2.

Le courant électrique, arrivant dans cet instrument par le support *CA* (*fig.* 2), parcourait d'abord le conducteur *AB*, redescendait par le support *BDE*; de ce support, par la petite chape d'acier *F*, où je plaçais un globule de mercure, et dans laquelle tournait le pivot d'acier de l'axe de verre *GH*, le courant se communiquait à la boîte de cuivre *I* et au conducteur *KLMNOPQ*, dont l'extrémité *Q* plongeait dans du mercure mis en communication avec l'autre extrémité de la pile; les choses étant ainsi disposées, il est clair que, dans la situation où ce conducteur est représenté et où je le mettais d'abord en l'appuyant contre l'appendice *T* du premier conducteur, le courant de la partie *MN* était en sens contraire de celui de *AB*, tandis que quand on faisait décrire une demi-circonférence à *KLMNOPQ*, les deux courans se trouvaient dans le même sens.

J'ai vu alors se produire l'effet que j'attendais; à l'instant où le circuit a été fermé, la partie mobile de l'appareil a tourné par l'action mutuelle de cette partie et du conducteur fixe *AB*, jusqu'à ce que les courans, qui étaient d'abord en sens contraire, vinssent se placer de manière à être parallèles et dans le même sens. La vitesse acquise lui faisait dépasser cette dernière position; mais elle y revenait, repassait un peu au-delà, et finissait par s'y fixer après quelques oscillations.

La manière dont je conçois l'aimant comme un assemblage de courans électriques dans des plans perpendiculaires à la ligne qui en joint les poles, me fit d'abord chercher à en imiter l'action par des conducteurs pliés

en hélice, dont chaque spire me représentait un courant disposé comme ceux d'un aimant, et ma première idée fut que l'obliquité de ces spires pouvait être négligée quand elles avaient peu de hauteur : je ne faisais pas alors attention qu'à mesure que cette hauteur diminue, le nombre des spires, pour une longueur donnée, augmente dans le même rapport, et que par conséquent, comme je l'ai reconnu plus tard, l'effet de cette obliquité reste toujours le même.

J'annonçai, dans le Mémoire lu à l'Académie le 18 septembre, l'intention où j'étais de faire construire des hélices en fil de laiton pour imiter tous les effets de l'aimant, soit d'un aimant fixe avec une hélice fixe, soit d'une aiguille aimantée avec une hélice roulée autour d'un tube de verre suspendu à son milieu sur une pointe très-fine comme l'aiguille d'une boussole (1). J'espérais que non-seulement les extrémités de cette hélice seraient attirées et repoussées comme les poles d'une aiguille, par ceux d'un barreau aimanté, mais encore qu'elle se dirigerait par l'action du globe terrestre : j'ai réussi complètement à l'égard de l'action du barreau aimanté ; mais à l'égard de la force directrice de la terre, l'appareil n'était pas assez mobile, et cette force agissait par un bras de levier trop court pour produire l'effet desiré ; je ne l'ai obtenu que quelque temps après, à l'aide des appareils qui seront décrits dans le paragraphe suivant. Le fil de laiton dont est formée l'hélice que j'ai fait construire, entoure de ses spires les deux tubes de verre

(1) J'ai changé depuis ce mode de suspension ainsi que je vais le dire.

ACD, *BEF* (fig. 3), et se prolonge ensuite de part et d'autre en revenant par l'intérieur de ces tubes; ses deux extrémités sortent en *D* et en *F*, l'une *DG* descend verticalement, l'autre est recourbée comme on le voit en *FHK*; elles sont toutes deux terminées par des pointes d'acier qui plongent dans le mercure contenu dans les deux petites coupes *M* et *N* et mis en communication avec les deux extrémités de la pile, la pointe supérieure appuyant seule contre le fond de la coupe *N*. Je n'ai pas besoin de dire que celle des deux extrémités de cette aiguille à hélice électrique qui se trouve à droite des courans est celle qui présente, à l'égard du barreau aimanté, les phénomènes qu'offre le pole austral d'une aiguille de boussole, et l'autre ceux du pole boréal.

Je fis ensuite construire un appareil semblable à celui de la fig. 1re, dans lequel le conducteur fixe et le conducteur mobile étaient remplacés par des hélices de laiton entourant des tubes de verre, mais dont les prolongemens, au lieu de revenir par ces tubes, étaient mis en communication avec les deux extrémités de la pile, comme les conducteurs rectilignes de la fig. 1re. C'est en faisant usage de cet instrument que je découvris un fait nouveau qui ne me parut pas d'abord s'accorder avec les autres phénomènes que j'avais jusqu'alors observés dans l'action mutuelle de deux courans électriques ou d'un courant et d'un aimant; j'ai reconnu depuis qu'il n'a rien de contraire à l'ensemble de ces phénomènes, mais qu'il faut, pour en rendre raison, admettre comme une loi générale de l'action mutuelle des courans électriques, un principe que je n'ai encore vérifié d'une manière précise qu'à l'égard des courans dans des fils métal-

liques pliés en hélice, mais que je crois vrai en général, à l'égard des portions infiniment petites de courant électrique dont on doit concevoir tout courant d'une grandeur finie comme composé, lorsqu'on veut en calculer les effets, soit qu'il ait lieu suivant une ligne droite ou une courbe.

Pour se faire une idée nette de cette loi, il faut concevoir dans l'espace une ligne représentant en grandeur et en direction la résultante de deux forces qui sont semblablement représentées par deux autres lignes, et supposer, dans les directions de ces trois lignes, trois portions infiniment petites de courans électriques dont les intensités soient proportionnelles à leurs longueurs. La loi dont il s'agit consiste en ce que la petite portion de courant électrique, dirigée suivant la résultante, exerce, dans quelque direction que ce soit, sur un autre courant ou sur un aimant, une action attractive ou répulsive égale à celle qui résulterait, dans la même direction, de la réunion des deux portions de courans dirigées suivant les composantes. On conçoit aisément pourquoi il en est ainsi, dans le cas où l'on considère le courant dans un fil conducteur plié en hélice, à l'égard des actions qu'il exerce parallèlement à l'axe de l'hélice et dans des plans perpendiculaires à cet axe, puisqu'alors le rapport de la résultante et des composantes est le même pour chaque arc infiniment petit de cette courbe, ainsi que celui des actions produites par les portions de courans électriques correspondantes, d'où il suit que ce dernier rapport existe aussi entre les intégrales de ces actions. Au reste, si la loi dont nous venons de parler est vraie pour deux composantes relativement à leur résultante, elle ne peut manquer de l'être pour un nombre quelconque

Pl. 5

de forces relativement à la résultante de toutes ces forces, comme on le voit aisément, en l'appliquant successivement d'abord à deux des forces données, puis à leur résultante et à une autre de ces forces, et en continuant toujours de même jusqu'à ce qu'on arrive à la résultante de toutes les forces données. Il suit de ce que nous venons de dire relativement aux courans électriques dans des fils pliés en hélice, que l'action produite par le courant de chaque spire se compose de deux autres, dont l'une serait produite par un courant parallèle à l'axe de l'hélice, représenté en intensité par la hauteur de cette spire, et l'autre par un courant circulaire représenté par la section faite perpendiculairement à cet axe dans la surface cylindrique sur laquelle se trouve l'hélice; et comme la somme des hauteurs de toutes les spires, prise parallèlement à l'axe de l'hélice, est nécessairement égale à cet axe, il s'ensuit qu'outre l'action produite par les courans circulaires transversaux, que j'ai comparée à celle d'un aimant, l'hélice produit en même temps la même action qu'un courant d'égale intensité qui aurait lieu dans son axe.

Si l'on fait revenir par cet axe le fil conducteur qui forme l'hélice, en l'enfermant dans un tube de verre placé dans cette hélice pour l'isoler des spires dont elle se compose, le courant de cette partie rectiligne du fil conducteur étant en sens contraire de celui qui équivaudrait à la partie de l'action de l'hélice qui a lieu parallèlement à son axe, repoussera ce que celui-ci attirerait, et attirera ce qu'il repousserait; l'action longitudinale de l'hélice sera donc détruite par celle de la portion rectiligne du conducteur, et il ne résultera de la réunion de celui-ci avec l'hélice que la seule action des courans circulaires

transversaux, parfaitement semblable à celle d'un aimant cylindrique. Cette réunion avait lieu dans l'instrument représenté dans la fig. 3, sans que j'en eusse prévu les avantages, et c'est pour cela qu'il m'a présenté exactement les effets d'un aimant, et que les hélices où il ne revenait pas dans l'axe une portion rectiligne du conducteur, me présentaient en outre les effets d'un conducteur rectiligne égal à l'axe de ces hélices; et comme le rayon des surfaces cylindriques sur lesquelles elles se trouvaient était assez petit dans les hélices dont je me servais, c'étaient même les effets dans le sens longitudinal qui étaient les plus sensibles, phénomène qui m'étonnait beaucoup avant que j'en eusse découvert la cause; j'étais encore à la chercher, et je voulais, par de nouvelles expériences, étudier toutes les circonstances de ce phénomène, que j'avais d'abord observé dans l'action de deux conducteurs pliés en hélice, et ensuite dans celle d'un conducteur de ce genre et d'une aiguille aimantée, lorsque M. Arago l'observa dans ce dernier cas, avant que je lui en eusse parlé. Ces hélices, dont le fil revient en ligne droite par l'axe, seront un instrument précieux pour les expériences de recherche, non-seulement parce qu'elles offriront le même genre d'action que les aimans, en donnant peu de hauteur aux spires, mais encore parce qu'en leur en donnant beaucoup, on aura un conducteur à-peu-près adynamique, pour porter et rapporter le courant électrique, sans qu'il y ait lieu de craindre que les courans qui se trouvent dans cette portion du conducteur altèrent les effets des autres parties du circuit, dont il s'agirait d'observer ou de mesurer l'action.

On peut aussi imiter exactement les phénomènes de

l'aimant au moyen d'un fil conducteur plié comme dans la fig. 4, où il y a, entre toutes les portions du conducteur qui se trouvent dans le sens de l'axe, la même compensation qui a lieu, dans les hélices dont nous venons de parler, entre l'action de la portion rectiligne du conducteur et celle que les spires exercent en sens contraire parallèlement à l'axe de l'hélice.

On voit que, dans cet instrument, le fil de laiton qui est renfermé dans le tube *BH* est le prolongement de celui qui forme les anneaux circulaires *E, F, G*, etc., et que chaque anneau tient au suivant par un petit arc d'une hélice dont chaque spire aurait une grande hauteur relativement au rayon de la surface cylindrique sur laquelle elle se trouve.

L'action qu'exercent les projections parallèles à l'axe du tube de ces petits arcs d'hélice, désignés dans la figure par les lettres *M, N, O*, etc., étant égale et opposée à celle de la portion *AB* du conducteur, il ne reste, dans cet appareil, que les actions des projections dans des plans perpendiculaires à l'axe du tube; et comme celles des arcs *M, N, O*, etc. dans ces plans sont très-petites, ce seront les actions des anneaux *E, F, G*, etc., dont on obtiendra les effets dans les expériences faites avec cet instrument.

Dès mes premières recherches sur le sujet dont nous nous occupons, j'avais cherché à trouver la loi suivant laquelle varie l'action attractive ou répulsive de deux courans électriques, lorsque leur distance et les angles qui déterminent leur position respective changent de valeurs. Je fus bientôt convaincu qu'on ne pouvait conclure cette loi d'expériences directes, parce qu'elle ne peut

avoir une expression simple qu'en considérant des portions de courans d'une longueur infiniment petite, et qu'on ne peut faire d'expérience sur de tels courans; l'action de ceux dont on peut mesurer les effets est la somme des actions infiniment petites de leurs élémens, somme qu'on ne peut obtenir que par deux intégrations successives, dont l'une doit se faire dans toute l'étendue d'un des courans pour un même point de l'autre, et la seconde s'exécuter sur le résultat de la première pris entre les limites marquées par les extrémités du premier courant, dans toute l'étendue du second; c'est le résultat de cette dernière intégration, pris entre les limites marquées par les extrémités du second courant, qui peut seul être comparé aux données de l'expérience; d'où il suit, comme je l'ai dit dans le Mémoire que j'ai lu à l'Académie le 9 octobre dernier, que ces intégrations sont la première chose dont il faut s'occuper lorsqu'on veut déterminer, d'abord l'action mutuelle de deux courans d'une longueur finie, soit rectilignes, soit curvilignes, en faisant attention que, dans un courant curviligne, la direction des portions dont il se compose est déterminée, à chaque point, par la tangente à la courbe suivant laquelle il a lieu, et ensuite celle d'un courant électrique sur un aimant, ou de deux aimans l'un sur l'autre, en considérant, dans ces deux derniers cas, les aimans comme des assemblages de courans électriques disposés comme je l'ai dit plus haut. D'après une belle expérience de M. Biot, les courans situés dans un même plan perpendiculaire à l'axe de l'aimant doivent être regardés comme ayant la même intensité, puisqu'il résulte de cette expérience, où il a comparé les effets produits par l'action

de la terre sur deux barreaux de même grandeur, de même forme et aimantés de la même manière, dont l'un était vide et non l'autre, que la force motrice était proportionnelle à la masse, et que par conséquent les causes auxquelles elle était due agissaient avec la même intensité sur toutes les particules d'une même tranche perpendiculaire à l'axe, l'intensité variant d'ailleurs d'une tranche à l'autre, suivant que ces tranches sont plus loin ou plus près des poles. Quand l'aimant est un solide de révolution autour de la ligne qui en joint les deux poles, tous les courans d'une même tranche doivent en outre être des cercles : ce qui donne un moyen pour simplifier les calculs relatifs aux aimans de cette forme, en calculant d'abord l'action d'une portion infiniment petite d'un courant électrique sur un assemblage de courans circulaires concentriques occupant tout l'espace renfermé dans la surface d'un cercle, de manière que les intensités qu'on leur attribue dans le calcul soient proportionnelles à la distance infiniment petite de deux courans consécutifs mesurée sur un rayon, puisque sans cela le résultat de l'intégration dépendrait du nombre des parties infiniment petites dans lesquelles on aurait divisé ce rayon par les circonférences qui représentent les courans; ce qui est absurde. Comme un courant circulaire est attiré dans la partie où il a lieu dans la direction du courant qui agit sur lui, et repoussé dans la partie où il a lieu en sens contraire, l'action sur une surface de cercle perpendiculaire à l'axe de l'aimant consistera en une résultante égale à la différence entre les attractions et répulsions décomposées parallèlement à cette résultante, et un couple résultant que les attractions et répulsions

tendront également à produire. On en trouvera la valeur par des intégrations relatives aux rayons des courans circulaires, qui devront être prises depuis zéro jusqu'au rayon de la surface quand l'aimant est plein, et entre les rayons des surfaces intérieure et extérieure quand c'est un cylindre creux. Il faudra multiplier alors le résultat de cette opération :

1°. Par l'épaisseur infiniment petite de la tranche et par l'intensité commune des courans dont elle est composée; 2° par l'intensité et la longueur d'une portion infiniment petite du courant électrique qu'on suppose agir sur elle; et on aura ainsi les valeurs de la résultante et du couple résultant dont se compose l'action élémentaire entre une tranche circulaire ou en forme de couronne, et une portion infiniment petite de ce courant.

Au moyen de cette valeur, s'il s'agit de l'action mutuelle d'un aimant et d'un courant, soit rectiligne d'une longueur finie, soit curviligne, il n'y aura plus, pour trouver la valeur de cette action, qu'à exécuter les intégrations qu'exigera le calcul de la résultante et du couple résultant de toutes les actions élémentaires entre chaque tranche de l'aimant et chaque portion infiniment petite du courant électrique.

Mais s'il s'agit de l'action mutuelle de deux aimans cylindriques, creux ou solides, il faudra d'abord reprendre la valeur de celle d'une tranche circulaire ou en forme de couronne et d'une portion infiniment petite de courant électrique, pour en conclure, par deux intégrations, l'action mutuelle entre cette tranche et une tranche semblable, en considérant celle-ci comme composée de courans circulaires, disposés comme dans la pre-

mière ; on aura ainsi la résultante et le couple résultant de l'action mutuelle de deux tranches infiniment minces, et par de nouvelles intégrations, on obtiendra les mêmes choses relativement à celle de deux aimans compris sous des surfaces de révolution, après toutefois qu'on aura déterminé par la comparaison des résultats du calcul et de ceux de l'expérience, suivant quelle fonction de la distance de chaque tranche à un des poles de l'aimant, varie l'intensité des courans électriques de cette tranche. Je n'ai point encore achevé les calculs qui sont relatifs, soit à l'action d'un aimant et d'un courant électrique, soit à l'action mutuelle de deux aimans (1), mais seulement ceux par lesquels j'ai déterminé l'action mutuelle de deux courans rectilignes d'une grandeur finie, en admettant que l'action qui a lieu entre les portions infiniment petites de ces courans est exprimée par une

(1) Ces calculs supposent que la présence d'un courant électrique ou d'un autre aimant ne change rien aux courans électriques de l'aimant sur lequel ils agissent. Cela n'a jamais lieu pour le fer doux ; mais comme l'acier trempé conserve les modifications qu'on lui fait éprouver par ce moyen, soit dans les expériences de M. Arago sur l'aimantation de l'acier par un courant électrique, soit dans l'emploi des procédés de l'aimantation ordinaire, il me paraît que quand de l'acier aimanté se trouve précisément dans le même état qu'auparavant, après qu'un autre aimant ou un courant électrique ont agi sur lui, on peut en conclure qu'ils n'avaient pas, pendant leur action, changé sensiblement la direction et l'intensité des courans dont il se compose, sans quoi les modifications qu'ils leur auraient fait subir subsisteraient après que cette action aurait cessé.

formule qu'il est aisé de déduire de la loi dont j'ai parlé tout-à-l'heure. J'avais d'abord projeté de ne publier cette formule et ses diverses applications que quand j'aurais pu en comparer les résulats à des expériences de mesures précises; mais, après avoir considéré toutes les circonstances que présentent les phénomènes, j'ai pensé qu'elle était appuyée sur des preuves suffisantes pour n'en pas retarder davantage la publication, et ce sera le premier objet dont je m'occuperai dans le Mémoire suivant.

J'avais fait construire, pour ces expériences, un instrument que je montrai, le 17 octobre dernier, à MM. Biot et Gay-Lussac, et qui ne différait de celui qui est représenté fig. 1re, qu'en ce que le conducteur fixe de ce dernier était remplacé par un conducteur attaché à un cercle qui tournait autour d'un axe horizontal perpendiculaire à la direction du conducteur mobile, au moyen d'une poulie de renvoi, et gradué de manière qu'on voyait sur le limbe l'angle formé par les directions des deux courans, dans les différentes positions qu'on pouvait donner successivement au conducteur porté par le cercle gradué.

Je ne figure pas cet appareil dans les planches jointes à ce Mémoire, parce qu'en conservant la même disposition pour ce dernier conducteur, et en plaçant le conducteur mobile dans une situation verticale, j'ai construit l'appareil représenté fig. 6, qui est beaucoup plus propre à faire exactement les mesures que j'avais en vue, surtout depuis que j'ai donné au support du cercle gradué, outre le mouvement par lequel on peut l'éloigner ou le rapprocher du conducteur mobile, au moyen d'une vis de rappel, deux autres mouvemens, l'un vertical,

et l'autre dans le sens horizontal et perpendiculaire à la direction des deux autres. Le premier de ces trois mouvemens est indispensable pour toute mesure à prendre avec l'instrument, il avait seul lieu dans mon premier appareil, les deux mouvemens que j'y ai ajoutés ont pour objet de donner la facilité de faire des mesures dans le cas où la ligne qui joint les milieux des deux courans ne leur est pas perpendiculaire. C'est pourquoi j'ai pensé qu'on pouvait se dispenser de les régler par des vis de rappel, et les faire à la main avant l'expérience, pourvu qu'on pût ensuite fixer d'une manière stable le support du cercle gradué dans la position qu'on lui aurait ainsi donnée.

C'est ce nouvel instrument que j'ai fait représenter, fig. 6, et dont je vais expliquer la construction : si je parle ici du premier, c'est parce que c'est avec lui que j'ai remarqué, pour la première fois, l'action du globe terrestre sur les courans électriques, qui altérait les effets de l'action mutuelle des deux conducteurs que j'avais l'intention de mesurer. J'interrompis alors ces observations, et je fis construire les deux appareils qui mettent cette action de la terre dans tout son jour, et avec lesquels j'ai produit également, dans des courans électriques, les mouvemens qui correspondent à la direction de la boussole dans le plan de l'horizon suivant la ligne de déclinaison, et à celle de l'aiguille d'inclinaison dans le plan du méridien magnétique; ces derniers instrumens, et les expériences que j'ai faites avec eux, seront décrits dans le paragraphe suivant, comme ils l'ont été dans le Mémoire que je lus à l'Académie des Sciences le 30 octobre dernier. Revenons à l'appareil pour mesurer l'ac-

Pl. 6

tion de deux courans électriques dans toutes sortes de positions, et qui est représenté dans la fig. 6.

Les trois mouvemens du support *KFG* ont lieu, le premier à l'aide de la vis de rappel *M*, les deux autres au moyen de ce que ce support est fixé à une pièce de bois *N*, qui peut glisser, dans les deux sens horizontal et vertical, sur une autre pièce de bois *O* fixée au pied de l'instrument. Dans l'une est pratiquée une fente horizontale, dans l'autre une fente verticale, et à l'intersection des directions de ces deux fentes, se trouve un écrou *Q* qui sert à arrêter la pièce mobile sur celle qui est fixe, dans la position qu'on veut lui donner. Le mouvement de rotation du cercle gradué à l'aide duquel on incline à volonté la portion du fil conducteur attachée à ce cercle, s'exécute au moyen des deux poulies de renvoi *P* et *P'*. Pour que la terre n'exerce aucune action sur le conducteur mobile, qui est équilibré par les petits contre-poids *x*, *y*, il est composé de deux parties égales et opposées *ABCd*, *abcDE*, auxquelles j'ai donné la forme qu'on voit dans la figure; et pour que ses deux extrémités puissent être mises en communication avec celles de la pile, il est interrompu à l'angle *A*, par lequel il est suspendu à un fil *HH'* dont la torsion doit faire équilibre à l'attraction ou répulsion des deux courans. La branche *BA* se prolonge au-delà de *A*, et la branche *DE* au-delà de *E*, et elles se terminent par les pointes *K*, *L*, qui plongent dans deux petites coupes pleines de mercure, mais n'en atteignent point le fond.

Le pied qui porte ces deux petites coupes peut être avancé ou reculé au moyen de l'écrou *q*, qui le fixe dans la rainure *ef*; elles peuvent être en fer ou en

platine; l'une d'elles est mise en communication avec une des deux extrémités de la pile par le conducteur XU enfermé dans un tube de verre autour duquel est plié en hélice à hautes spires le conducteur YVT, terminé par une sorte de ressort en cuivre, qui s'appuie en T sur la circonférence du cercle gradué, où il se trouve en contact avec un cercle en fil de laiton communiquant avec la branche SS' du conducteur dont la partie SR est destinée à agir sur le conducteur mobile, et dont la branche RR' tient à un second cercle en fil de laiton sur lequel s'appuie en Z un ressort ZI semblable au premier, et qui communique, du côté de I, avec l'autre extrémité de la pile. Il est clair qu'en faisant tourner le cercle gradué autour de l'axe horizontal qui le supporte, la partie SR du conducteur tournera dans un plan vertical, de manière à former tous les angles qu'on voudra avec la direction de la partie BC du conducteur mobile, sur laquelle elle agit à travers la cage de verre où est renfermé ce conducteur mobile, pour qu'il ne puisse participer aux agitations de l'air.

Pour mesurer les attractions et les répulsions des deux conducteurs à différentes distances, lorsqu'ils sont parallèles, et que la ligne qui en joint les milieux leur est perpendiculaire, on tourne l'axe vertical auquel est attaché le fil de suspension, de manière que la partie BC du conducteur mobile réponde au zéro de l'échelle gh; ce qu'on obtient en la plaçant immédiatement au-dessus du biseau qui termine la pièce en cuivre m; un indice np attaché en n au support du cercle gradué marque sur cette échelle la distance des deux portions de conducteur BC et SR. Lorsqu'on établit la communication

des deux extrémités du circuit avec celles de la pile, la portion mobile *BC* se porte en avant ou en arrière suivant qu'elle est attirée ou repoussée par *SR* ; mais on la ramène dans la position où elle se trouvait auparavant en faisant tourner l'axe du fil de supension ; le nombre des tours et portions de tour marqué par l'indice *r* sur le cadran *pq* attaché à cet axe, donne la valeur de l'attraction ou de la répulsion des deux courans électriques, mesurée par la torsion du fil.

Il n'est pas nécessaire de rappeler aux physiciens accoutumés à faire des mesures de ce genre, que l'intensité des courans variant sans cesse avec l'énergie de la pile, il faut, entre chaque expérience à différentes distances, en faire une à une distance constante, afin de connaître, par l'action observée chaque fois à cette distance constante, et les règles ordinaires d'interpolation, comment varie l'intensité des courans, et quelle en est la valeur à chaque instant. On s'y prendra de la même manière pour comparer les attractions et répulsions à une distance constante lorsque l'on fait varier l'angle des directions des deux courans, dans le cas où la ligne qui en joint les milieux ne cesse pas de leur être perpendiculaire. Les observations intermédiaires, pour déterminer par interpolation l'énergie de la pile à chaque instant, seront même alors plus faciles, puisque la distance des deux portions de conducteur *BC* et *SR* ne variant point, il suffira de faire tourner le cercle gradué pour ramener chaque fois *SR* dans la direction parallèle à *BC*. Enfin, lorsqu'on voudra mesurer l'action mutuelle de *BC* et de *SR*, lorsque la ligne qui en joint les milieux n'est pas perpendiculaire à leur direction, on donnera

au support du cercle gradué la situation convenable au moyen de l'écrou Q qui le fixe au reste de l'appareil dans la position qu'on veut lui donner, et en faisant alors une série d'expériences semblables à celles du cas précédent, on pourra comparer les résultats obtenus dans chaque situation des conducteurs des courans électriques, à ceux qu'on aura eu dans le cas où la ligne qui en joint les milieux leur est perpendiculaire, en faisant cette comparaison pour une même plus courte distance des courans, et ensuite pour des distances différentes. On aura ainsi tout ce qu'il faut pour voir comment et jusqu'à quel point ces diverses circonstances influent sur l'action mutuelle des courans électriques : il ne s'agira plus que de voir si l'ensemble de ces résultats s'accorde avec le calcul des effets qui doivent être produits dans chaque circonstance, d'après la loi d'attraction qu'on aura admise entre deux portions infiniment petites de courans électriques.

Par l'addition d'un autre conducteur mobile dont la suspension est exactement la même, qui est de même composé de deux parties égales et opposées, et que j'ai fait représenter à part (fig. 10, planc. 5), j'ai rendu cet instrument propre à mesurer aussi le moment des forces qui tendent à faire tourner un conducteur, par l'action d'un autre conducteur qui fait successivement avec lui différens angles auxquels répondent différens momens. Ce conducteur mobile *ABOCDEF* a la forme qu'on voit dans la figure 10, et se trouve suspendu au milieu de son côté horizontal supérieur, où il est interrompu entre les points *A*, *F*, où les deux extrémités de ce conducteur portent les deux

pointes d'acier *M*, *N*, qui sont situées dans une même ligne verticale, et plongent dans le mercure des deux petites coupes de la figure 6, sans en toucher le fond à cause de la suspension au fil de torsion. Pour mesurer le moment de rotation produit par un conducteur rectiligne, on en place un sous la cage de verre très-près du côté horizontal inférieur *CD* (fig. 10) du conducteur mobile, de manière qu'il réponde à son milieu : ce dernier tourne alors par l'action du conducteur fixe sans être influencé par celle de la terre, parce qu'il y a compensation entre les actions qu'elle exerce sur les deux moitiés égales et opposées du conducteur mobile.

§ II. *Direction des courans électriques par l'action du globe terrestre* (1).

Je n'ai pas réussi dans les premières expériences que j'ai tentées pour faire mouvoir le fil conducteur d'un courant électrique par l'action du globe terrestre, moins peut-être par la difficulté d'obtenir une suspension assez mobile, que parce qu'au lieu de chercher dans la théorie qui ramène les phénomènes de l'aimant à ceux des courans électriques, la disposition la plus favorable à cette sorte d'action, j'étais préoccupé de l'idée d'imiter le plus que je le pouvais la disposition des courans électriques de l'aimant dans l'arrangement de ceux sur lesquels je voulais observer l'action de la terre dans le cas où ils sont produits par la pile de Volta; cette seule idée m'avait

---

(1) Ce qui est contenu dans ce paragraphe a été lu à l'Académie royale des Sciences, dans sa séance du 30 octobre dernier.

guidé dans la construction de l'instrument représenté fig. 3, et elle m'empêchait de faire attention que ce n'est en quelque sorte que d'une manière indirecte que cette action porte le pole austral de l'aiguille aimantée au nord et en bas, et le pole boréal au sud et en haut; que son effet immédiat est de placer les plans perpendiculaires à l'axe de l'aimant, dans lesquels se trouvent les courans électriques dont il se compose, parallèlement à un plan déterminé par l'action résultante de tous ceux de notre globe, et qui est, dans chaque lieu, perpendiculaire à l'aiguille d'inclinaison. Il suit de cette considération que ce n'est pas une ligne droite, mais un plan que l'action terrestre doit immédiatement diriger; qu'ainsi ce qu'il faut imiter, c'est la disposition de l'électricité suivant l'équateur de l'aiguille aimantée, équateur qui est une courbe rentrante sur elle-même, et voir ensuite si lorsqu'un courant électrique est ainsi disposé, l'action de la terre tend à amener le plan où il se trouve dans une direction parallèle à celle où elle tend à amener l'équateur de l'aimant, c'est-à-dire, dans une direction perpendiculaire à l'aiguille d'inclinaison, de manière que le courant qu'on essaie de diriger ainsi soit dans le même sens que ceux de l'aiguille aimantée qui a obéi à l'action du globe terrestre.

L'aimant reçoit des mouvemens différens suivant qu'il ne peut que tourner dans le plan de l'horizon comme l'aiguille d'une boussole, ou dans le plan du méridien magnétique, comme l'aiguille d'inclinaison attachée à un axe horizontal et perpendiculaire au méridien magnétique. Pour imiter ces deux mouvemens en en imprimant d'analogues à un courant électrique, il faut que le

plan dans lequel il se trouve soit, dans le premier cas, vertical comme celui de l'équateur d'une aiguille aimantée horizontale, et tourne autour de la verticale qui passe par son centre de gravité; et dans le second, qu'il ne puisse, comme l'équateur de l'aiguille d'inclinaison, tourner qu'autour d'une ligne comprise dans ce plan, qui soit à la fois horizontale et perpendiculaire au méridien magnétique.

J'ai mis d'abord dans ces deux positions une double spirale de cuivre qui m'a paru très-propre à représenter les courans électriques de l'équateur d'un aimant; et j'ai vu cet appareil se mouvoir quand j'y ai établi un courant électrique, précisément comme l'aurait fait, dans le premier cas, l'équateur de l'aiguille d'une boussole, et dans le second celui d'une aiguille d'inclinaison. Mais il m'est arrivé la même chose qu'à M. OErsted. Dans ses expériences, la force directrice du courant électrique qu'il faisait agir sur une aiguille aimantée tendait à la placer dans une direction qui fît un angle droit avec celle du courant; mais il n'obtenait jamais une déviation de cent degrés en laissant le fil conducteur dans la direction du méridien magnétique, parce que l'action du globe terrestre se combinant avec celle du courant électrique, l'aiguille aimantée se dirigeait suivant la résultante de ces deux actions. Dans les expériences faites avec la double spirale, la force directrice de la terre était contrariée, dans le premier cas, par la torsion du fil auquel cet instrument était suspendu; dans le second, par sa pesanteur, parce que le centre de gravité ne pouvait être exactement situé dans la ligne horizontale autour de laquelle tournait le plan de la double spirale.

Je pensai alors qu'en multipliant le nombre des spires dont cette spirale était composée, on n'augmentait pas pour cela l'effet produit par l'action de la terre, parce que la masse à mouvoir augmentait proportionnellement à la force motrice, d'où je conclus que j'obtiendrais plus simplement les mêmes phénomènes de direction en employant, pour représenter l'équateur d'une aiguille aimantée, un seul courant électrique revenant sur lui-même, et formant un circuit si ce n'est absolument fermé, car alors il eût été impossible d'établir le courant dans le fil de cuivre, du moins ne laissant que l'interruption suffisante pour faire communiquer ses deux extrémités avec celles de la pile.

Je compris en même temps que la forme du circuit était indifférente, pourvu que toutes les parties en fussent dans un même plan, puisque c'était un plan qu'il s'agissait de diriger.

Je fis construire alors deux appareils ; dans l'un, le fil conducteur a la forme d'une circonférence *ABCD* (pl. 3, fig. 7), dont le rayon a un peu plus de deux décimètres. Les deux extrémités du fil de laiton dont cette circonférence est formée sont soudées aux deux boîtes de cuivre *E*, *F*, attachées à un tube de verre *Q*, et qui portent deux pointes d'acier *M* et *N*, plongeant dans le mercure contenu dans les deux petites coupes de platine *O*, *P*, et dont la supérieure *N* atteint seule le fond de la coupe *P*. Ces deux coupes sont portées par les boîtes de cuivre *G*, *H*, qui communiquent aux deux extrémités de la pile, au moyen de deux conducteurs en fil de laiton, dont l'un est renfermé dans le tube de verre qui porte ces deux dernières boîtes, et sert de pied à l'instrument,

et l'autre forme autour de ce tube une hélice dont les spires ont une assez grande hauteur relativement au diamètre du tube, afin que les actions exercées par les deux portions de courans qui parcourent ces conducteurs en sens contraire se neutralisent à-peu-près complètement. J'ai placé sous la cage de verre, qui recouvre cet instrument pour le mettre à l'abri des agitations de l'air, un autre cercle en fil de laiton, d'un diamètre un peu plus grand, qui est fixe et supporté par un pied semblable à celui du cercle mobile, dans la situation qu'on voit dans la figure. Ce cercle communique aussi avec deux conducteurs disposés de la même manière, et qui servent de même à y faire passer le courant électrique lorsqu'au lieu d'observer l'action du globe terrestre sur le cercle mobile, on veut voir les effets de celle de deux courans circulaires l'un sur l'autre, tandis que quand on veut observer l'action qu'exerce la terre sur un courant électrique, on ne fait passer ce courant que dans le cercle mobile. Comme il n'est question ici que de l'action du globe terrestre, je ne parlerai que du cas où les conducteurs du cercle mobile sont seuls en communication avec les deux extrémités de la pile. Le cercle fixe ne sert alors qu'à indiquer d'une manière précise le plan vertical et perpendiculaire au méridien magnétique, où le cercle mobile doit être amené par l'action de la terre. On place donc d'abord le cercle fixe dans ce plan au moyen d'une boussole, et le cercle mobile dans une autre situation qui sera, par exemple, celle du méridien magnétique lui-même; alors, dès qu'on y fera passer un courant électrique, il tournera pour se porter dans le plan indiqué par le cercle fixe, le dépassera d'abord en vertu de la vitesse acquise,

puis y reviendra, et s'y arrêtera après quelques oscillations.

Le sens dans lequel ce mouvement a lieu dépend de celui du courant électrique établi dans le cercle mobile; pour le prévoir d'avance, on considérera une ligne passant par le centre de ce cercle, et perpendiculaire à son plan, cette ligne arrivera dans le méridien magnétique lorsque le cercle mobile sera amené dans le plan qui lui est perpendiculaire, et elle y arrivera de manière que celle de ces deux extrémités qui est à droite du courant considéré comme agissant sur un point pris à volonté hors de ce cercle, et par conséquent à gauche de l'observateur qui, placé dans le sens du courant, regarderait l'aiguille, extrémité qui représente le pole austral d'une aiguille aimantée, se trouve dirigée du côté du nord; ce qui suffit pour déterminer le sens du mouvement que prendra le cercle mobile.

Dans l'autre appareil, l'équateur de l'aiguille d'inclinaison est représenté par un rectangle en fil de laiton d'environ 3 décimètres de largeur sur 6 de longueur. La suspension est d'ailleurs la même que celle de l'aiguille d'inclinaison. C'est avec ces deux instrumens que, dans des expériences souvent répétées, j'ai observé les phénomènes de direction par l'action de la terre, bien plus complètement que je ne l'avais fait avec la double spirale. Dans le premier, le cercle mobile s'est, ainsi que je viens de le dire, arrêté précisément dans la situation où l'action du globe terrestre devait l'amener d'après la théorie; dans le second, le conducteur mobile a constamment quitté une position où j'avais constaté, en le faisant osciller, que l'équilibre était stable, pour se porter dans

une situation plus ou moins rapprochée de celle qu'aurait prise, dans les mêmes circonstances, l'équateur d'une aiguille aimantée, et il s'y arrêtait, après quelques oscillations, en équilibre entre la force directrice de la terre et la pesanteur qui agissait alors en faisant plier le fil de laiton, ce qui abaissait le centre de gravité du conducteur au-dessous de l'axe horizontal. Dès qu'on interrompait le circuit, on le voyait revenir à sa première position, ou s'il n'y revenait pas précisément, s'il en restait même quelquefois assez éloigné, il était évident, par toutes les circonstances de l'expérience, que cela tenait à la flexion dont je viens de parler, qui avait produit, dans la situation du centre de gravité, une légère altération qui subsistait quand on faisait cesser le courant électrique. Dans les expériences faites avec ces deux instrumens, j'ai eu soin de changer les extrémités des fils conducteurs relativement à celles de la pile, pour constater que le courant qui est dans celle-ci n'était pas la cause de l'effet produit, puisqu'alors il aurait toujours eu lieu dans le même sens, et que cet effet avait lieu en sens contraire, conformément à la théorie. J'ai aussi, en laissant les mêmes extrémités en communication, fait passer, de la droite à la gauche de l'instrument, les fils qui faisaient communiquer le conducteur mobile aux deux extrémités de la pile, pour constater que les courans de ces fils, dont je tenais d'ailleurs la plus grande portion loin de l'instrument, n'avaient pas d'influence sensible sur ses mouvemens. Je n'ai pas besoin de dire que, dans tous les cas, les mouvemens ont lieu dans le sens où se mouvrait l'équateur d'une aiguille aimantée, c'est-à-dire que l'extrémité de la perpendiculaire au plan du conducteur, qui se

trouve à droite du courant, et par conséquent à gauche de la personne qui le regarde dans la situation décrite dans le premier paragraphe de ce Mémoire, est porté ~~au nord dans le premier cas, et en bas dans le second~~, comme le serait le pole austral d'un aimant que cette extrémité représente. L'instrument avec lequel j'ai fait cette expérience se compose d'un fil de laiton *ABCDEFG* soudé en *A* à un morceau de fil semblable *HAK* porté par le tube de verre *XY* au moyen de la boîte en cuivre *H*, et auquel est fixé un petit axe en acier qui repose sur le rebord taillé en biseau d'une lame en fer *N* sur laquelle on met du mercure en contact avec cet axe. La partie *FG* de ce fil de laiton passe dans le tube de verre et se soude à la boîte en cuivre *G*, à laquelle est attaché un petit axe en acier semblable à l'autre et qui repose sur le rebord d'une autre lame *M* où l'on met aussi du mercure. Les deux lames en fer *M*, *N*, sont supportées par les pieds *PQ*, *RS*, qui communiquent avec le mercure des coupes de buis *T*, *U*, où l'on fait plonger les deux conducteurs partant des deux extrémités de la pile. Pour empêcher la flexion du fil de laiton *ABCDEF*, le tube de verre *XY* porte, au moyen d'une autre boîte en cuivre *I*, un losange en bois *ZV* très-léger et très-mince, dont les extrémités soutiennent les milieux des portions *BC*, *DE*, du fil de laiton qui sont parallèles au tube de verre *XY*.

au nord quand le conducteur mobile étoit d'abord horizontal, et en bas quand il était placé d'abord dans un plan vertical perpendiculaire au méridien magnétique

note errata w.r.t. original

L'interposition du mercure dans cet instrument, et dans ceux que je viens de décrire, par-tout où la communication doit avoir lieu par des parties qui ne sont pas soudées, sans être toujours nécessaire, est le meilleur moyen que je connaisse pour assurer la réussite des expériences. Ainsi, j'avais deux fois tenté sans succès une expérience

qui a parfaitement réussi quand, en l'essayant une troisième fois, j'ai rendu la communication plus complète par un globule de mercure.

§ III. *De l'Action mutuelle entre un conducteur électrique et un aimant.*

C'est cette action découverte par M. OErsted, qui m'a conduit à reconnaître celle de deux courans électriques l'un sur l'autre, celle du globe terrestre sur un courant, et la manière dont l'électricité produisait tous les phénomènes que présentent les aimans, par une distribution semblable à celle qui a lieu dans le conducteur d'un courant électrique, suivant des courbes fermées perpendiculaires à l'axe de chaque aimant. Ces vues, dont la plus grande partie n'a été que plus tard confirmée par l'expérience, furent communiquées à l'Académie royale des Sciences, dans sa séance du 18 septembre 1820; je vais transcrire ce que je lus dans cette séance, sans autres changemens que la suppression des passages qui ne seraient qu'une répétition de ce que je viens de dire, et en particulier de ceux où je décrivais les appareils que je me proposais de faire construire; ils l'ont été depuis, et la plupart sont décrits dans les paragraphes précédens. On pourra, par ce moyen, se faire une idée plus juste de la marche que j'ai suivie dans mes recherches sur le sujet dont nous nous occupons.

Les expériences que j'ai faites sur l'action mutuelle des conducteurs qui mettent en communication les extrémités d'une pile voltaïque, m'ont montré que tous les faits relatifs à cette action peuvent être ramenés à deux résultats généraux, qu'on doit considérer d'abord comme

uniquement donnés par l'observation, en attendant qu'on puisse les ramener à un principe unique, en déterminant la nature et, s'il se peut, l'expression analytique de la force qui les produit. Je commencerai par les énoncer sous la forme qui me paraît la plus simple et la plus générale.

Ces résultats consistent, d'une part, dans l'action directrice d'un de ces corps sur l'autre; de l'autre part, dans l'action attractive ou répulsive qui s'établit entre eux, suivant les circonstances.

Action directrice. Lorsqu'un aimant et un conducteur agissent l'un sur l'autre, et que l'un d'eux étant fixe, l'autre ne peut que tourner dans un plan perpendiculaire à la plus courte distance du conducteur et de l'axe de l'aimant, celui qui est mobile tend à se mouvoir, de manière que les directions du conducteur et de l'axe de l'aimant forment un angle droit, et que le pole de l'aimant qui regarde habituellement le nord soit à gauche de ce qu'on appelle ordinairement *le courant galvanique*, dénomination que j'ai cru devoir changer en celle de courant électrique, et le pole opposé à sa droite, bien entendu que la ligne qui mesure la plus courte distance du conducteur et l'axe de l'aimant rencontre la direction de cet axe entre les deux poles. Pour conserver à cet énoncé toute la généralité dont il est susceptible, il faut distinguer deux sortes de conducteurs : 1° la pile même, dans laquelle le courant électrique, dans le sens où j'emploie ce mot, se porte de l'extrémité où il se produit de l'hydrogène dans la décomposition de l'eau, à celle d'où l'oxigène se dégage; 2° le fil métallique qui unit les deux extrémités de la pile, et où l'on doit alors considérer le même courant comme se portant, au contraire, de l'extrémité qui

donne de l'oxigène, à celle qui développe de l'hydrogène. On peut comprendre ces deux cas dans une même définition, en disant qu'on entend par courant électrique la direction suivant laquelle l'hydrogène et les bases des sels sont transportés par l'action de toute la pile, en concevant celle-ci comme formant avec le conducteur un seul circuit, lorsqu'on interrompt ce circuit pour y placer, soit de l'eau, soit une dissolution saline que cette action décompose. Au reste, tout ce que je vais dire sur ce sujet ne suppose aucunement qu'il y ait réellement un courant dans cette direction, et on peut ne considérer que comme une manière commode et usitée de la désigner l'emploi que je fais ici de cette dénomination de courant électrique.

Dans les expériences de M. Œrsted, cette action directrice se combine toujours avec celle que le globe terrestre exerce sur l'aiguille aimantée, et se combine en outre quelquefois avec l'action que je décrirai tout-à-l'heure sous la dénomination d'*action attractive ou répulsive*; ce qui conduit à des résultats compliqués dont il est difficile d'analyser les circonstances et de reconnaître les lois.

Pour pouvoir observer les effets de l'*action directrice* d'un courant électrique sur un aimant, sans qu'ils fussent altérés par ces diverses causes, j'ai fait construire un instrument que j'ai nommé *aiguille aimantée astatique*. Cet instrument, représenté pl. 4, fig. 8, consiste dans une aiguille aimantée *AB* fixée perpendiculairement à un axe *CD*, qu'on peut placer dans la direction que l'on veut, au moyen d'un mouvement semblable à celui du pied d'un télescope et de deux vis de rappel *E*,*F*.

L'aiguille ainsi disposée ne peut se mouvoir qu'en tournant dans un plan perpendiculaire à cet axe, dans lequel on a soin que son centre de gravité soit exactement placé, en sorte qu'avant qu'elle soit aimantée on puisse s'assurer que la pesanteur n'a aucune action pour la faire changer de position. On l'aimante alors, et cet instrument sert à vérifier que tant que le plan où se meut l'aiguille n'est pas perpendiculaire à la direction de l'aiguille d'inclinaison, le magnétisme terrestre tend à faire prendre à l'aiguille aimantée la direction de celle des lignes tracées sur ce plan qui est le plus rapprochée possible de l'axe de l'aiguille d'inclinaison, c'est-à-dire, la direction de la projection de cet axe sur le même plan. On rend ensuite, au moyen des vis de rappel, le plan où se meut l'aiguille aimantée perpendiculaire à la direction de l'aiguille d'inclinaison, le magnétisme terrestre n'a plus alors aucune action pour la diriger, et elle devient ainsi complètement astatique. L'instrument porte, dans le même plan un cercle *LMN* divisé en degrés, sur lequel sont fixés deux petits barreaux de verre *GH*, *IK*, pour attacher les fils conducteurs, dont l'action directrice agit alors seule et sans complication avec la pesanteur et le magnétisme terrestre.

La principale expérience à faire avec cet appareil est de montrer que l'angle entre les directions de l'aiguille et du conducteur est toujours droit quand l'*action directrice* est la seule qui ait lieu.

Action attractive ou répulsive. Ce second résultat général consiste, 1° en ce qu'un conducteur joignant les deux extrémités d'une pile voltaïque, et un aimant dont l'axe fait un angle droit avec la direction du courant

qui a lieu dans ce conducteur conformément aux définitions précédentes, s'attirent quand le pole austral est à gauche du courant qui agit sur lui, c'est-à-dire, quand la position est celle que le conducteur et l'aimant tendent à prendre en vertu de leur action mutuelle, et se repoussent quand le pole austral de l'aimant est à la droite du courant, c'est-à-dire, quand le conducteur et l'aimant sont maintenus dans la position opposée à celle qu'ils tendent à se donner mutuellement. On voit, par l'énoncé même de ces deux résultats, que l'action entre le conducteur et l'aimant est toujours réciproque. C'est cette réciprocité que je me suis d'abord attaché à vérifier, quoiqu'elle me parût assez évidente par elle-même; il me semble qu'il serait superflu de décrire ici les expériences que j'ai faites pour la constater : il suffit de dire qu'elles ont pleinement réussi.

Les deux modes d'action entre un aimant et un fil conjonctif, que je viens d'exposer en les considérant comme de simples résultats de l'expérience, suffisent pour rendre raison des faits observés par M. OErsted, et pour prévoir ce qui doit arriver dans les cas analogues à l'égard desquels on n'a point encore fait d'observation. Ils indiquent, par exemple, d'avance tout ce qui doit arriver quand un courant électrique agit sur l'aiguille d'inclinaison. Je n'entrerai dans aucun détail à cet égard, puisque tout ce que je pourrais dire sur ce sujet découle immédiatement des énoncés précédens. Je me bornerai à dire qu'après avoir déduit seulement le premier résultat général de la note de M. OErsted, j'en déduisis l'explication des phénomènes magnétiques, fondée sur l'existence des courans électriques dans le globe

de la terre et dans les aimans, que cette explication me conduisit au second résultat général, et me suggéra, pour le constater, une expérience qui réussit complètement. Lorsque je la communiquai à M. Arago, il me fit remarquer avec raison que cette attraction entre un aimant et un conducteur électrique placés à angles droits dans la direction où ils tendent à se mettre mutuellement, et cette répulsion, dans la direction opposée, pouvaient seules rendre raison des résultats publiés par l'auteur de la découverte, dans le cas où l'aiguille aimantée étant horizontale on en approche le fil conducteur d'une pile voltaïque dans une situation verticale, et qu'on pouvait même déduire aisément cette loi, de l'une des expériences de M. Œrsted, celle qu'il énonce ainsi : *Posito autem filo (cujus extremitas superior electricitatem à termino negativo apparatûs galvanici accipit) è regione puncto inter polum et medium acûs sito, occidentem versùs agitur.*

Car ce mouvement de l'aiguille aimantée, indiqué comme ayant lieu soit que le conducteur se trouve à l'occident ou à l'orient de l'aiguille, est dans le premier cas une attraction, parce que le pole austral est à la gauche du courant, et dans le second une répulsion, parce qu'il se trouve à droite.

Mais en convenant de la justesse de cette observation, il me semble que la distinction que j'ai faite des deux résultats généraux de l'action mutuelle d'un aimant et d'un fil conducteur n'en devient que plus importante pour expliquer ce qui arrive alors, en montrant que, dans ce cas, c'est tantôt une attraction et tantôt une répulsion, toujours conformément à la loi du second résultat général

que je viens d'exposer, tandis que, dans l'expérience que M. OErsted énonce immédiatement avant en ces termes : *Quando filum conjungens perpendiculare ponitur è regione polo acûs magneticæ, et extremitas superior fili electricitatem à termino negativo apparatûs galvanici accipit, polus orientem versùs movetur*, ce mouvement n'a lieu que pour que l'aiguille aimantée prenne, à l'égard du conducteur, la direction déterminée par le premier résultat général, avec toutes les circonstances que j'ai comprises dans son énoncé, et en particulier la remarque qui le termine.

Il me reste à décrire l'instrument avec lequel j'ai constaté l'existence de cette action entre un courant électrique et un aimant, désignée, dans ce qui précède, sous le nom d'*action attractive ou répulsive*, et j'en ai observé les effets sans que l'*action directrice* vînt les altérer en se combinant avec elle. Cet instrument, représenté pl. 4, fig. 9, est composé d'un pied *ABC* dont les bras *BEG*, *BFH* supportent le fil conducteur horizontal *KL*, auprès duquel on suspend une petite aiguille aimantée cylindrique *MN*, à l'extrémité *C* de ce pied, au moyen d'un fil de soie *MC*, tantôt par son pole austral et tantôt par son pole boréal (1).

(1) C'est ici qu'était placée, dans le Mémoire que je lus à l'Académie le 18 septembre 1820, la description des instrumens que je me proposais de faire construire, celle entre autres des conducteurs pliés en spirale et en hélice; je me procurai la plupart de ces instrumens entre cette séance et celle du 25 septembre, où je fis l'expérience des attractions et répulsions des courans électriques, sans l'intermède d'au-

La première réflexion que je fis lorsque je voulus chercher les causes des nouveaux phénomènes découverts par M. OErsted, est que l'ordre dans lequel on a découvert deux faits ne faisant rien aux conséquences des analogies qu'ils présentent, nous pouvions supposer qu'avant de savoir que l'aiguille aimantée prend une direction constante du sud au nord, on avait d'abord connu la propriété qu'elle a d'être amenée par un courant électrique dans une situation perpendiculaire à ce courant, de manière qu'un même pole de l'aiguille fût toujours porté à gauche du courant, et qu'on découvrît ensuite la propriété qu'elle a de tourner constamment au nord celui de ses poles qui se portait ainsi à gauche du courant : l'idée la plus simple, et celle qui se présenterait immédiatement à celui qui voudrait expliquer cette direction constante de l'aiguille, ne serait-elle pas d'admettre dans la terre un courant électrique, dans une direction telle que le nord se trouvât à gauche d'un homme qui, couché sur sa surface pour avoir la face tournée du côté de l'aiguille, recevrait ce courant dans la direction de ses pieds à sa tête, et d'en conclure qu'il a lieu, de l'est à l'ouest, dans une direction perpendiculaire au méridien magnétique ?

Cette hypothèse devient d'autant plus probable qu'on fait plus attention à l'ensemble des faits connus ; ce courant, s'il existe, doit être comparé à celui que j'ai

---

cun aimant ; je supprime ici cette description, parce qu'elle se retrouve, soit dans ce que je lus à cette dernière séance et que je vais bientôt transcrire, soit dans les autres passages de ce Mémoire relatifs à l'explication des planches dont il est accompagné.

montré dans la pile agir sur l'aiguille aimantée, comme se dirigeant de l'extrémité cuivre à l'extrémité zinc, quand on établissait un conducteur entre elles, et qui aurait lieu de même si, la pile formant une courbe fermée, elles étaient réunies par un couple semblable aux autres : car il n'y a probablement rien dans notre globe qui ressemble à un conducteur continu et homogène; mais les matières diverses dont il est composé sont précisément dans le cas d'une pile voltaïque formée d'élémens disposés au hasard, et qui, revenant sur elle-même, formerait comme une ceinture continue tout autour de la terre. Des élémens ainsi disposés donnent moins d'énergie électrique sans doute que s'ils l'étaient dans un ordre périodiquement régulier; mais il faudrait qu'ils fussent arrangés à dessein pour que, dans une série de substances différentes formant une courbe fermée autour de la terre, il n'y eût pas de courant dans un sens ou dans l'autre. Il se trouve que, d'après l'arrangement des substances de la terre, ce courant a lieu de l'est à l'ouest, et qu'il dirige par-tout l'aiguille aimantée perpendiculairement à sa propre direction. Cette direction trace ainsi sur la terre un parallèle magnétique, de manière que le pole de l'aiguille qui doit être à gauche du courant se trouve par-là constamment porté vers le nord, et l'aiguille dirigée suivant le méridien magnétique.

Je ferai remarquer, à ce sujet, que les effets produits par les piles de la construction anglaise, où l'on brûle un fil fin de métal même avec une seule paire dont le zinc et le cuivre plongent dans un acide, prouvent suffisamment que c'est une supposition trop restreinte de n'admettre l'action électro-motrice qu'entre les métaux,

et de ne regarder le liquide interposé que comme conducteur. Il y a sans doute action entre deux métaux, Volta l'a démontré de la manière la plus complète ; mais est-ce une raison pour qu'il n'y en ait pas entre eux et d'autres corps, ou entre ceux-ci seulement ? Il y en a probablement dans le contact entre tous les corps qui peuvent conduire plus ou moins l'électricité sous une faible tension ; mais cette action est plus sensible dans les piles composées de métaux et d'acides étendus, tant parce qu'il parait que ce sont les substances où elle se développe avec le plus d'énergie, que parce que ce sont celles qui conduisent le mieux l'électricité.

Les divers arrangemens que nous pouvons donner à des corps non métalliques ne sauraient produire une action électro-motrice comparable à celle d'une pile voltaïque à disques métalliques séparés alternativement par des liquides, à cause du peu de longueur qu'il nous est permis de donner à nos appareils ; mais une pile qui ferait le tour de la terre conserverait sans doute quelque intensité lors même qu'elle ne serait pas composée de métaux, et que les élémens en seraient arrangés au hasard ; car sur une si grande longueur, il faudrait, comme je viens de le dire, que l'arrangement fût fait à dessein pour que les actions dans un sens fussent exactement détruites par les actions dans l'autre.

Je crois devoir faire observer à ce sujet que des courans électriques dans un même corps ne peuvent être indépendans les uns des autres, à moins qu'ils ne fussent séparés par des substances qui les isoleraient complètement dans toute leur étendue, et encore, dans ce cas-là même, ils devraient influer les uns sur les autres,

puisque leur action se transmet à travers tous les corps ; à plus forte raison lorsqu'ils co-existent dans un globe dont toutes les parties sont continues, doivent-ils se diriger tous dans le même sens, suivant la direction que tend à leur donner la réunion de toutes les actions électro-motrices de ce globe. Je suis bien loin, au reste, de croire que ce soit seulement dans ces actions, que réside la cause des courans électriques qui y sont indiqués par la direction que prend l'aiguille aimantée à chaque point de la surface de la terre; je crois, au contraire, que la cause principale en est toute différente, comme j'aurai occasion de le dire ailleurs; au reste, cette cause, dépendant de la rotation de la terre, donnerait en chaque lieu une direction constante à l'aiguille, ce qui est contraire à l'observation, je regarde donc l'action électro-motrice des substances dont se compose la planète que nous habitons, comme se combinant avec cette action générale, et expliquant les variations de la déclinaison à mesure que l'oxidation fait des progrès dans l'une ou l'autre région continentale de la terre.

Quant aux variations diurnes, elles s'expliquent aisément par le changement de température alternatif de ces deux régions pendant la durée d'une rotation du globe terrestre, d'autant plus facilement qu'on connaît depuis longtemps l'influence de la température sur l'action électro-motrice, influence sur laquelle M. Dessaignes a fait des observations très-intéressantes. Il faut aussi compter parmi les actions électro-motrices des différentes parties de la terre celle des minerais aimantés qu'elle contient, et qui doivent, d'après mes idées sur la nature de l'aimant, être considérés comme autant de piles voltaïques. L'éléva-

tion de température qui a lieu dans les conducteurs des courans électriques doit avoir lieu aussi dans ceux du globe terrestre. Ne serait-ce pas là la cause de cette chaleur interne constatée récemment par les expériences rapportées, dans une des dernières séances de l'Académie, par un de ses membres dont les travaux sur la chaleur ont fait rentrer cette partie de la physique dans le domaine des mathématiques? Et quand on fait attention que cette élévation de température produit, lorsque le courant est assez énergique, une incandescence permanente, accompagnée de la plus vive lumière, sans combustion ni déperdition de substance, ne pourrait-on pas en conclure que les globes opaques ne le sont qu'à cause du peu d'énergie des courans électriques qui s'y établissent, et trouver dans des courans plus actifs la cause de la chaleur et de la lumière des globes qui brillent par eux-mêmes?

On sait qu'on expliquait autrefois par des courans les phénomènes magnétiques, mais on les supposait parallèles à l'axe de l'aimant, situation dans laquelle ils ne pourraient exister sans se croiser et se détruire.

Maintenant, si des courans électriques sont la cause de l'action directrice de la terre, des courans électriques seront aussi la cause de celle d'un aimant sur un autre aimant; d'où il suit qu'un aimant doit être considéré comme un assemblage de courans électriques qui ont lieu dans des plans perpendiculaires à son axe, dirigés de manière que le pole austral de l'aimant, qui se porte du côté du nord, se trouve à droite de ces courans, puisqu'il est toujours à gauche d'un courant placé hors de l'aimant, et qui lui fait face dans une direction parallèle, ou plutôt ces courans s'établissent d'abord dans l'aimant suivant les courbes fermées

les plus courtes, soit de gauche à droite, soit de droite à gauche, et alors la ligne perpendiculaire aux plans de ces courans devient l'axe de l'aimant, et ses extrémités en deviennent les poles. Ainsi, à chacun des poles d'un aimant, les courans électriques dont il se compose sont dirigés suivant des courbes fermées concentriques; j'ai imité cette disposition autant qu'il était possible avec un courant électrique, en en pliant le fil conducteur en spirale : cette spirale était formée avec un fil de laiton et terminée par deux portions rectilignes de ce même fil, qui étaient renfermées dans deux tubes de verre (1), afin qu'elles ne communiquassent pas entre elles, et pussent être attachées aux deux extrémités de la pile.

Suivant le sens dans lequel on fait passer le courant dans une telle spirale, elle est en effet fortement attirée ou repoussée par le pole d'un aimant qu'on lui présente de manière que la direction de son axe soit perpendiculaire au plan de la spirale, selon que les courans électriques de la spirale et du pole de l'aimant sont dans le même sens ou en sens contraire. En remplaçant l'aimant par une autre spirale dont le courant soit dans le même sens que le sien, on a les mêmes attractions et répulsions; c'est ainsi que j'ai découvert que deux courans électriques s'attirent quand ils ont lieu dans le même sens, et se repoussent dans le cas contraire.

En remplaçant ensuite, dans l'expérience de l'action mutuelle d'un des poles d'un aimant et d'un courant dans un fil métallique plié en spirale, cette spirale

---

(1) J'ai depuis changé cette disposition, comme je le dirai ci-après.

par un autre aimant, on a encore les mêmes effets, soit en attraction, soit en répulsion, conformément à la loi des phénomènes connus de l'aimant; il est évident d'ailleurs que toutes les circonstances de ces derniers phénomènes sont une suite nécessaire de la disposition des courans électriques que j'y admets, d'après la manière dont ces courans s'attirent et se repoussent.

J'ai construit un autre appareil où le fil conducteur est plié en hélice autour d'un tube de verre; d'après la théorie que je me suis faite de ces sortes de phénomènes, ce conducteur doit présenter, quand on y fera passer le courant électrique, une action semblable à celle d'une aiguille ou d'un barreau aimanté, dans toutes les circonstances où ceux-ci agissent sur d'autres corps, ou sont mus par le magnétisme terrestre (1). J'ai déjà observé une partie des effets que j'attendais de l'emploi d'un conducteur plié en hélice, et je ne doute pas que plus on variera les expérienees fondées sur l'analogie qu'établit la théorie entre cet instrument et un barreau aimanté, plus on obtiendra de preuves que l'existence

Pl. 9

(1) Quand j'écrivais cela, je ne connaissais pas bien celle des deux actions exercées par une hélice, qui correspond aux projections de ses spires sur son axe, et je croyais qu'on pouvait la négliger, ce qui n'est pas; mais tout ce que je dis ici sera vrai si on l'entend d'une hélice où l'on ait détruit cette action par un courant rectiligne opposé, établi dans le tube de verre qu'elle entoure de ses spires, en sorte qu'il ne reste plus que l'action qu'exerce chaque spire dans un plan perpendiculaire à l'axe de l'hélice, ainsi que je l'ai expliqué dans le premier paragraphe de ce Mémoire.

des courans électriques dans les aimans est la cause unique de tous les phénomènes magnétiques.

Je ne pus achever la lecture que je fis à l'Académie de ce que je viens de transcrire, que dans la séance du 25 septembre; je terminai cette lecture par un résumé où je déduisais, des faits qui y étaient exposés, les conclusions suivantes :

1°. Deux courans électriques s'attirent quand ils se meuvent parallèlement dans le même sens; ils repoussent quand ils se meuvent parallèlement en sens contraire.

2°. Il s'ensuit que quand les fils métalliques qu'ils parcourent ne peuvent que tourner dans des plans parallèles, chacun des deux courans tend à amener l'autre dans une situation où il lui soit parallèle et dirigé dans le même sens.

3°. Ces attractions et répulsions sont absolument différentes des attractions et répulsions électriques ordinaires.

4°. Tous les phénomènes que présente l'action mutuelle d'un courant électrique et d'un aimant, découverts par M. OErsted, que j'ai analysés et réduits à deux faits généraux dans un Mémoire précédent, lu à l'Académie le 18 septembre 1820, rentrent dans la loi d'attraction et de répulsion de deux courans électriques, telle qu'elle vient d'être énoncée, en admettant qu'un aimant n'est qu'un assemblage de courans électriques qui sont produits par une action des particules de l'acier les unes sur les autres analogue à celle des élémens d'une pile voltaïque, et qui ont lieu dans des plans perpendiculaires à la ligne qui joint les deux poles de l'aimant.

5°. Lorsque l'aimant est dans la situation qu'il tend à prendre par l'action du globe terrestre, ces courans sont dirigés dans le sens opposé à celui du mouvement apparent du soleil; en sorte que quand on place l'aimant dans la situation contraire, afin que ceux de ses poles qui regardent les poles de la terre soient de même espèce qu'eux, les mêmes courans se trouvent dans le sens du mouvement apparent du soleil.

6°. Les phénomènes connus qu'on observe lorsque deux aimans agissent l'un sur l'autre rentrent dans la même loi.

7°. Il en est de même de l'action que le globe terrestre exerce sur un aimant, en y admettant des courans électriques dans des plans perpendiculaires à la direction de l'aiguille d'inclinaison, et qui se meuvent de l'est à l'ouest, au-dessous de cette direction.

8°. Il n'y a rien de plus à l'un des poles d'un aimant qu'à l'autre; la seule différence qu'il y ait entre eux est que l'un se trouve à gauche et l'autre à droite des courans électriques qui donnent à l'acier les propriétés magnétiques.

9°. Lorsque Volta eut prouvé que les deux électricités, positive et négative, des deux extrémités de la pile s'attiraient et se repoussaient d'après les mêmes lois que les deux électricités produites par les moyens connus avant lui, il n'avait pas pour cela démontré complètement l'identité des fluides mis en action par la pile et par le frottement; mais cette identité le fut, autant qu'une vérité physique peut l'être, lorsqu'il montra que deux corps, dont l'un était électrisé par le contact des métaux, et l'autre par le frottement, agissaient l'un sur l'autre,

dans toutes les circonstances, comme s'ils avaient été tous les deux électrisés avec la pile ou avec la machine électrique ordinaire. Le même genre de preuves se trouve ici à l'égard de l'identité des attractions et répulsions des courans électriques et des aimans. Je viens de montrer à l'Académie l'action mutuelle de deux courans ; les phénomènes anciennement connus relativement à celle de deux aimans rentrent dans la même loi ; en partant de cette similitude, on prouverait seulement que les fluides électriques et magnétiques sont soumis aux mêmes lois, comme on l'admet depuis long-temps, et le seul changement à faire à la théorie ordinaire de l'aimantation serait d'admettre que les attractions et répulsions magnétiques ne doivent pas être assimilées à celles qui résultent de la tension électrique, mais à celles que j'ai observées entre deux courans. Les expériences de M. Œrsted, où un courant électrique produit encore les mêmes effets sur un aimant, prouvent de plus que ce sont les mêmes fluides qui agissent dans les deux cas.

Dans la séance du 9 octobre, j'insistai de nouveau sur cette identité de l'électricité et de la cause des phénomènes magnétiques, en montrant que l'aimant ne jouit des propriétés qui le caractérise que parce qu'il se trouve, dans les plans perpendiculaires à la ligne qui en joint les poles, la même disposition d'électricité qui existe dans le conducteur par lequel on fait communiquer les deux extrémités d'une pile voltaïque ; disposition que j'ai désignée sous le nom de *courant électrique*, tout en insistant, dans les Mémoires que j'ai lus à l'Académie, sur ce que l'identité des parallèles magnétiques et des conducteurs d'une pile de Volta, que j'avais surtout en vue

d'établir, était indépendante de l'idée, quelle qu'elle fût, qu'on se faisait de cette disposition électrique.

Pour mettre dans tout son jour l'identité des courans des conducteurs voltaïques et de ceux que j'admets dans les aimans, je me suis procuré deux petites aiguilles fortement aimantées, garnies au milieu d'un double crochet en laiton, portant une flèche qui indique la direction du courant de l'aimant ; j'ai fait représenter une de ces aiguilles de face, et l'autre de champ, à côté de la figure 1re. *ab* est l'aiguille, *cd* le double crochet, *ef* la flèche. Au moyen du double crochet, ces aiguilles s'adaptent, quand on veut les y placer, sur les conducteurs *AB*, *CD* (fig. 1), dans une situation où la ligne qui joint leurs poles est verticale, et où leurs courans, toujours parallèles aux conducteurs, sont à volonté dirigés dans le même sens ou dans des sens opposés. Voici l'usage de ces aiguilles : après avoir produit les attractions et répulsions entre les conducteurs *AB*, *CD*, en faisant passer dans tous deux le courant électrique, on ne le fait plus passer que dans l'un des deux, et on place sur l'autre une des aiguilles aimantées dans la situation que je viens d'indiquer, de manière que le courant que j'admets dans l'aiguille soit d'abord dans le même sens que celui qui avait lieu auparavant dans le conducteur auquel elle est adaptée ; on voit alors que le phénomène d'attraction ou de répulsion, qu'offraient d'abord les deux conducteurs, continue d'avoir lieu en vertu de ce que j'ai nommé l'*action attractive ou répulsive* au commencement de ce paragraphe ; on place ensuite la même aiguille de manière que son courant soit dirigé en sens contraire, et on obtient le phénomène inverse, en vertu

5

de la même action, précisément comme si on avait changé la direction du courant que cette aiguille remplace, en faisant communiquer, dans un ordre opposé à celui qui avait d'abord été établi, les deux extrémités de la pile avec celles du conducteur de ce courant.

Enfin, en ne faisant plus passer de courant électrique dans aucun des deux conducteurs, et en plaçant sur chacun une aiguille aimantée toujours dans la même situation verticale où son axe fait un angle droit avec le conducteur qui la porte, pour que ses courans continuent d'être parallèles à ce conducteur, on a de nouveau, d'après l'action connue de deux aimans l'un sur l'autre, les mêmes attractions et répulsions que quand des courans étaient établis dans les deux conducteurs, lorsque les courans des aiguilles sont tous deux dans le même sens, ou tous deux en sens contraire, relativement aux courans électriques qu'ils remplacent, et des phénomènes inverses quand l'un est dans le même sens et l'autre dans le sens opposé; le tout conformément à la théorie fondée sur l'identité des courans de l'aimant et de ceux qu'on produit avec la pile de Volta.

On peut aussi vérifier cette identité dans l'instrument représenté fig. 2. En remplaçant le conducteur fixe *AB* par un barreau aimanté situé horizontalement dans une direction perpendiculaire à celle de ce conducteur, et de manière que les courans de cet aimant soient dans le même sens que le courant électrique établi d'abord dans le conducteur fixe, on ne fait plus alors passer le courant que dans le conducteur mobile, et on voit que celui-ci tourne par l'action de l'aimant précisément comme il le faisait dans l'expérience où le courant était établi dans les deux conducteurs, et où il n'y avait point

de barreau aimanté. C'est pour attacher ce barreau, que j'ai fait joindre à cet appareil le support *XY*, terminé en *Y* par la boîte *Z* ouverte aux deux bouts où l'on fixe l'aimant dans la position que je viens d'expliquer au moyen de la vis de pression *V*.

Quant à l'appareil représenté pl. 5, fig. 11, on voit par cette figure que les moyens de communication avec les extrémités de la pile, et le mode de suspension du conducteur mobile, étant à-peu-près les mêmes que dans celui qui est représenté dans la fig. 1[re], ces deux instrumens ne diffèrent qu'en ce que, dans celui de la fig. 11, les deux conducteurs *A*, *B* sont pliés en spirale, et le conducteur mobile *B* suspendu à un tube de verre vertical *CD*. Ce tube est terminé inférieurement au centre de la spirale que forme ce conducteur, et reçoit dans son intérieur le prolongement du fil de laiton de cette spirale; ce prolongement arrivé en *D*, au haut du tube, y est soudé à la boîte de cuivre *E*, qui porte le tube de cuivre *F* où entre à frottement le contre-poids *H*, et une pointe d'acier *L* qu'on plonge dans le globule de mercure de la chape *Y*, tandis que l'autre extrémité du même fil de laiton, après avoir entouré le tube *CD* en forme d'hélice, vient se souder à la boîte de cuivre *D*, à laquelle s'attache l'autre pointe d'acier *K* destinée à être plongée aussi dans un globule de mercure placé dans la chape *X*. Ces deux chapes sont d'acier, afin de n'être point endommagées par le mercure; les pointes reposent sur leur surface concave comme dans l'instrument représenté fig. 1.

Ce serait ici le lieu de parler d'un autre genre d'action des courans électriques sur l'acier, celle par laquelle ils lui communiquent les propriétés magnétiques, et de montrer que toutes les circonstances de cette action,

dont nous devons la connaissance à M. Arago, sont autant de preuves de la théorie exposée dans ce Mémoire relativement à la nature électrique de l'aimant; théorie dont il me semble qu'on peut dire que ces preuves complètent la démonstration. J'aurais aussi, pour ne rien omettre de ce qui est connu sur l'action mutuelle des fils conjonctifs et des aimans, à parler d'expériences très-intéressantes communiquées à l'Académie dans un Mémoire qu'un physicien plein de sagacité, M. Boisgiraud, a lu dans la séance du 9 octobre 1820. Une de ces expériences ne laisse aucun doute sur un point important de la théorie de l'action mutuelle d'un fil conducteur et d'un aimant, en prouvant que cette action a lieu entre ce conducteur et toutes les tranches perpendiculaires à la ligne qui joint les deux poles du petit aimant soumis à son action, sans se développer avec une plus grande énergie sur les poles de cet aimant, comme il arrive lorsqu'on observe l'action que les divers points de la longueur d'un barreau aimanté exercent sur une petite aiguille. Mais les découvertes de M. Arago ont été exposées par lui-même dans les *Annales de Chimie et de Physique* (t. xv, p. 93-102), et j'aurai occasion, dans le Mémoire suivant (1), de parler des expériences de M. Boisgiraud, et d'en déduire les conséquences qui découlent naturellement des faits qu'il a observés.

---

(1) Comme ce que j'ai à dire sur l'action mutuelle de deux aimans se oompose bien moins de faits nouveaux que de calculs par lesquels on ramène cette action à celle de deux courans électriques, j'ai cru devoir renvoyer à ce second Mémoire, le paragraphe où je me proposais d'examiner dans celui-ci les lois suivant lesquelles elle s'exerce, et de montrer que ces lois sont une suite nécessaire de la cause que je lui ai assignée dans les conclusions que j'ai lues à l'Académie le 25 septembre dernier.

ADDITIONS AU MÉMOIRE PRÉCÉDENT.

Note *sur les expériences électro-magnétiques de MM.* Oersted, Ampère, Arago et Biot. (1)

M. OErsted, professeur à l'université de Copenhague, avait publié, avant 1807, un ouvrage dans lequel il annonçait qu'il se proposait de vérifier *si l'électricité dans son état le plus latent n'a aucune action sur l'aimant* (1); mais ce n'est que pendant l'hiver de 1819, qu'il a découvert *l'action du fil conjonctif de la pile voltaïque sur l'aiguille aimantée*, dont il a donné une explication particulière, qui ne s'accorde point avec l'idée que les fluides électriques et magnétiques sont une même chose (2).

Le résultat de la belle expérience faite par M. OErsted n'a été connu à Paris que vers le mois de juillet 1820, et dès le mois de septembre suivant plusieurs savans ont ajouté à ce premier travail des faits très-importans sur les rapports de l'électricité avec le magnétisme.

M. Ampère a démontré que deux fils conjonctifs de métaux non magnétiques s'attirent et se repoussent par la seule action du fluide électrique; que l'on peut remplacer un des deux fils conjonctifs par un *aimant* sans changer la nature des actions, ce qui donne tous les phénomènes découverts par M. OErsted; que l'on peut de même, sans qu'elle soit changée,

(1) Chap. VIII de la traduction de l'allemand par M. Marcel de Serres, publiée en 1807.

(2) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XIV, p. 424.

(1). Annales des Mines, tome V p. 535-558.
Cette note résume les communications faites par Ampère à l'Académie les 4, 11, et 26 Xbre 1820, dont le texte n'a jamais été publié. J.J.

mettre un *aimant* à la place du second fil conjonctif, d'où résultent les faits connus de l'action mutuelle de deux aimans. Il en a conclu que tous les phénomènes des aimans sont purement électriques, et que la distribution de l'électricité dans le fil conjonctif est la même que dans des plans perpendiculaires à la ligne qui joint les deux pôles d'un aimant suivant des courbes fermées, tracées dans ces plans.

Pendant que M. Ampère établissait ainsi l'identité des fluides électriques et magnétiques, M. Arago aimantait de la limaille de fer par le fil conjonctif droit. Bientôt M. Arago, par un procédé déduit des idées théoriques de M. Ampère, aimanta des aiguilles et des barreaux d'acier, en les plaçant dans la partie intérieure d'un fil conjonctif plié en hélice sur une portion de sa longueur : ces corps s'y aimantent parfaitement, soit qu'ils posent immédiatement sur les filets de l'hélice, soit qu'ils soient enveloppés d'un papier ou introduits dans un tube de verre, afin qu'ils ne puissent communiquer avec ces filets.

La position des pôles des corps ainsi aimantés se trouve déterminée par celle des spires de l'hélice qui les enveloppe, et différente si ces spires tournent de gauche à droite ou de droite à gauche. D'après cette observation, M. Arago a plié un même fil conjonctif de cuivre suivant plusieurs hélices placées à la suite l'une de l'autre et dont les spires tournaient alternativement en sens contraires; il a placé dans chacune d'elles une aiguille, et ces aiguilles se sont trouvées aimantées en même temps, de manière que leurs pôles de même nom étaient contigus; un fil d'acier substitué à la réunion de toutes ces aiguilles

s'est aimanté comme elles, de manière qu'il a présenté autant de points conséquens qu'il y avait de changemens dans la direction des spires. M. Arago a obtenu ces effets, soit qu'il se servît de l'appareil voltaïque, soit qu'il employât une machine électrique ordinaire, soit qu'il fît passer une décharge de la bouteille de Leyde à travers le fil plié en hélice.

On savait depuis long-temps que des croix situées sur des églises, des verges de paratonnerre s'aimantent naturellement par l'électricité atmosphérique.

L'Annuaire de 1819, publié par le Bureau des Longitudes, contient un article de M. Arago sur les forces magnétiques, où ce savant annonce avoir été témoin qu'un bâtiment génois qui faisait route pour Marseille, étant à peu de distance d'Alger, fut frappé par la foudre qui en changea les pôles de manière que les aiguilles des boussoles firent une demi-révolution, et que le bâtiment vint se briser à la côte au moment où le pilote croyait avoir le cap au nord.

On avait aussi remarqué que l'aiguille aimantée était souvent agitée lorsqu'il paraissait une aurore boréale. Francklin attribuait ce phénomène au fluide électrique (1); M. Arago vient de montrer, d'après des expériences faites en Angleterre, comment l'aurore boréale *est produite par des courans électriques semblables au courant lumineux que donne la pile de* Volta *dans ces expériences* (2).

---

(1) *Traité de Physique* de M. Haüy, année 1803, paragraphe 628.

(2) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XV, p. 101 et 102. Ce renvoi vise les dernières pages du mémoire d'Arago, imprimé plus haut.

Ritter (*Journal de Physique*, tome LVII, année 1803) avait conclu de quelques essais qui n'ont pas été vérifiés depuis, que *la terre a des pôles électriques, comme elle a des méridiens magnétiques*. Il est prouvé aujourd'hui que tout ce qu'avait avancé Ritter sur ce sujet, est contraire à la manière dont le globe terrestre agit réellement sur les conducteurs électriques.

MM. Hachette et Desormes avaient eu, en 1805, l'idée heureuse de reconnaître la direction que prendrait une pile électrique horizontale libre, composée de mille quatre cent quatre-vingt plaques minces de cuivre, revêtues de zinc sur une de leurs deux faces, et du diamètre d'une pièce de 5 francs. Ils avaient placé cette pile dans un bateau qui flottait sur l'eau d'une grande cuve, où ils avaient reconnu précédemment qu'un barreau d'acier aimanté d'un poids à-peu-près égal à celui de la pile, et placé dans le bateau, arrivait, après quelques oscillations, dans le méridien magnétique; mais la pile ne prit aucune direction déterminée, comme cela devait ariver, puisqu'ils n'en mettaient pas les extrémités en communication et qu'ainsi il n'y avait point de courant électrique.

Tous ces faits, et même les expériences de M. OErsted, étaient loin de prouver *l'identité de l'électricité avec l'aimant*; cette identité n'a été établie que par M. Ampère; ce savant a lu, à ce sujet, plusieurs mémoires à l'Académie royale des sciences, dont voici l'extrait :

Le 18 septembre 1820, il réduisit les phénomènes observés par M. OErsted à deux faits généraux; il montra que le courant qui est dans la pile agit sur l'aiguille aimantée, comme celui

du fil conjonctif, et rapporta les expériences d'après lesquelles il avait constaté *l'attraction ou répulsion de toute la masse d'une aiguille aimantée par le fil conjonctif;* il décrivit les instrumens qu'il se proposait de faire construire, et entre autres les *spirales* et les *hélices galvaniques*, qu'il annonça devoir produire les mêmes effets que les aimans; il donna ensuite quelques détails sur la manière dont il concevait que les aimans devaient uniquement leurs propriétés à des courans électriques dans des plans perpendiculaires à leur axe; il montra qu'on devait admettre des courans semblables dans le globe terrestre, et *réduisit tous les phénomènes magnétiques à des effets purement électriques.*

Le 25 septembre, il donna plus de développement à cette théorie; il annonça le fait nouveau de *l'attraction et de la répulsion de deux courans électriques sans l'intermède d'aucun aimant*, et répéta cette expérience dans le cours de la séance avec des conducteurs pliés en spirales. M. Ampère fit ensuite le résumé de ce qu'il avait lu dans cette séance et dans la précédente, et s'exprima ainsi :

1°. Deux courans électriques s'attirent quand ils se meuvent parallèlement dans le même sens, et ils se repoussent quand ils se meuvent parallèlement en sens contraire;

2°. Il s'ensuit que quand les fils métalliques qu'ils parcourent ne peuvent que tourner dans des plans parallèles, chacun des deux courans tend à amener l'autre dans une situation où il lui soit parallèle et dirigé dans le même sens;

3°. Ces attractions et répulsions sont absolu-

ment différentes des attractions et répulsions électriques ordinaires ;

4°. Tous les phénomènes que présente l'action mutuelle d'un courant électrique et d'un aimant, découverts par M. OErsted, que j'ai analysés et réduits à deux faits généraux dans un mémoire précédent, lu à l'Académie le 18 septembre 1820, rentrent dans la loi d'attraction et de répulsion de deux courans électriques, telle qu'elle vient d'être énoncée, en admettant qu'un aimant n'est qu'un assemblage de courans électriques qui sont produits par une action des particules de l'acier les unes sur les autres, analogue à celle des élémens d'une pile voltaïque, et qui se meuvent dans les plans perpendiculaires à la ligne qui joint les deux pôles de l'aimant ;

5°. Lorsque l'aimant est dans la situation qu'il tend à prendre par l'action du globe terrestre, ces courans sont dirigés dans le sens opposé à celui du mouvement apparent du soleil ; en sorte que quand on place l'aimant dans la situation contraire, afin que ceux de ses pôles qui regardent les pôles de la terre soient de même espèce qu'eux, les mêmes courans se trouvent dans le sens du mouvement apparent du soleil ;

6°. Les phénomènes connus qu'on observe lorsque deux aimans agissent l'un sur l'autre, rentrent dans la même loi ;

7°. Il en est de même de l'action que la terre exerce sur un aimant, en admettant dans le globe terrestre des courans électriques dans des plans perpendiculaires à la direction de l'aiguille d'inclinaison, et qui se meuvent de l'est à l'ouest ;

8°. Il n'y a rien de plus à l'un des pôles d'un

aimant qu'à l'autre ; la seule différence qu'il y ait entre eux est que l'un se trouve à gauche et l'autre à droite des courans électriques qui donnent à l'acier les propriétés magnétiques.

9°. Lorsque Volta eut prouvé que les deux électricités, positive et négative, des deux extrémités de la pile s'attiraient et se repoussaient d'après les mêmes lois que les deux électricités produites par les moyens connus avant lui, il n'avait pas pour cela démontré complétement l'identité des fluides mis en action par la pile et par le frottement ; mais cette identité le fut autant qu'une vérité physique peut l'être, lorsqu'il montra que deux corps, dont l'un était électrisé par le contact des métaux, et l'autre par le frottement, agissaient l'un sur l'autre dans toutes les circonstantes, comme s'ils avaient été tous les deux électrisés avec la pile ou avec la machine électrique ordinaire. Le même genre de preuves se trouve ici à l'égard de l'identité des attractions et répulsions des courans électriques et des aimans. Je viens de montrer à l'Académie l'action mutuelle de deux courans ; les phénomènes anciennement connus relativement à celle de deux aimans rentrent dans la même loi : en partant de cette similitude, on prouverait seulement que les fluides électriques et magnétiques sont soumis aux mêmes lois, comme on l'admet depuis long-temps, et le seul changement à faire à la théorie ordinaire de l'aimantation serait d'admettre que les attractions et répulsions magnétiques ne doivent pas être assimilées à celles qui résultent de la tension électrique, mais à celles que j'ai observées entre deux courans. Les expériences de M. Œrsted, où un courant élec-

trique produit encore les mêmes effets sur un aimant, prouvent de plus que ce sont les mêmes fluides qui agissent dans les deux cas.

Le 9 octobre suivant, M. Ampère présenta à l'Académie des expériences qui mettaient dans tout son jour *l'identité d'action entre les fils conjonctifs et les courbes fermées*, suivant lesquelles il conçoit des courans électriques dans des plans perpendiculaires à la ligne qui joint les deux pôles d'un aimant. Il fit voir sur deux courans électriques rectilignes les mêmes effets qu'il avait montrés, dans la séance précédente, sur des courans dont les conducteurs étaient pliés en spirales.

M. Ampère lut, dans la même séance, un mémoire où il donnait les résultats de quelques nouvelles expériences sur les mêmes phénomènes, et sur les circonstances où ils se produisent; il décrivit la marche qu'il a suivie depuis pour calculer les effets des courans électriques d'une longueur finie et ceux des aimans; il annonça qu'il attendait, pour entreprendre ces calculs, d'avoir achevé de déterminer, par l'expérience, la loi des attractions de deux portions infiniment petites de courans électriques, sur laquelle il donna de premiers aperçus. Il insista, dans ce mémoire, sur toutes les différences qui établissent, entre les attractions et les répulsions des courans électriques et celles de l'électricité ordinaire, *une dissemblance et presque une opposition complète*.

Le 16 octobre, il lut une note relative aux belles expériences de M. Arago sur l'*aimantation de l'acier* à l'aide du courant produit par une pile voltaïque, en le faisant passer dans un

fil conducteur plié en hélice, expériences conformes à ce qu'il avait annoncé sur l'identité de ces courans et de ceux qu'il admet dans les aimans, et qui peuvent être regardées comme en *complétant la démonstration.*

Le 30 suivant, M. Ampère annonça à l'Académie que, conformément à sa théorie sur les phénomènes que présentent les courans électriques et les aimans, l'action du globe terrestre tend à amener dans un plan perpendiculaire à la direction de l'aiguille d'inclinaison le plan d'une portion mobile du conducteur d'un appareil voltaïque, disposée de manière à former un circuit presque fermé. Il décrivit deux instrumens, dont le premier lui avait servi à produire le mouvement du fil conjonctif, correspondant à la direction de l'aiguille d'une boussole dans le plan horizontal suivant la ligne de déclinaison, et l'autre, celui qui correspond à la direction de l'aiguille d'inclinaison dans le plan du méridien magnétique. Il fit voir, dans cette séance, un instrument où l'on fait tourner dans un plan horizontal une portion du courant électrique, dont le conducteur est attaché à un pivot vertical, par l'action d'un autre courant; action qui l'amène dans la situation où *ces deux courans sont parallèles et dirigés dans le même sens.*

M. Biot lut dans la même séance un mémoire contenant les résultats des premières et jusqu'à présent des seules expériences de mesures précises qui aient été publiées sur l'action mutuelle des conducteurs voltaïques et des aimans; ces expériences, qu'il a faites avec M. Savart, établissent que l'action d'un conducteur rectiligne

indéfini sur un aimant est en raison inverse de leur distance.

Le 6 novembre 1820, M. Ampère communiqua à l'Académie un fait relatif à l'action des conducteurs pliés en hélices, fait qu'il avait reconnu long-temps avant d'en connaître la cause, et que M. Arago avait également observé; il en conclut :

1°. Un moyen très-simple de neutraliser l'effet longitudinal d'un courant électrique dans un conducteur plié en hélice, et d'en réduire l'action à l'effet transversal, qui se trouve alors identique à celui d'un aimant;

2°. Une loi qu'il n'avait alors vérifiée qu'à l'égard de l'action exercée par cette sorte de courans, mais qu'il a depuis prouvée, par des expériences directes, être vraie en général pour chacune des portions infiniment petites dont il faut concevoir les courans électriques comme composés, lorsqu'on veut en calculer les effets.

Pour se faire une idée nette de la loi que M. Ampère expose dans ce mémoire, il faut concevoir dans l'espace une ligne représentant, en grandeur et en direction, la résultante de deux forces qui sont semblablement représentées par deux autres lignes, et supposer dans les directions de ces trois lignes trois courans électriques dont les forces attractives ou répulsives sont proportionnelles à leurs longueurs. La loi dont il s'agit consiste en ce que le courant dirigé suivant la résultante exerce, dans quelque direction que ce soit, sur un autre courant électrique, ou sur un aimant, la même action que la réunion des deux courans dirigés suivant les composantes.

M. Ampère n'a, dans ce mémoire, établi cette loi que sur un seul fait, celui de la double action produite par un fil conducteur plié en hélice, qui agit à-la-fois comme un conducteur rectiligne égal en longueur à l'axe de l'hélice, et comme un assemblage d'autant de portions de conducteurs circulaires égaux et parallèles à la circonférence de la base du cylindre qu'entoure l'hélice, que cette hélice a de spires, conformément à la loi dont nous parlons. L'égalité de la première action et de celle d'un conducteur rectiligne égal en longueur à l'axe de l'hélice, est prouvée par l'expérience d'une manière rigoureuse, parce que cette action est exactement compensée par celle en sens opposé qu'on produit en faisant revenir le même fil conducteur par l'axe de l'hélice dans un tube de verre ou de papier recouvert de ses spires, et qui empêche cette hélice de communiquer avec la portion du fil enfermée dans le tube : l'action se réduit alors à celle d'un assemblage d'autant de courans électriques circulaires qu'il y a de spires. D'après la manière dont M. Ampère conçoit les courans des aimans auxquels il attribue tous les effets qu'ils produisent, l'action d'un fil conducteur ainsi disposé doit être identique à celle d'un barreau aimanté : c'est ce que l'expérience a vérifié de la manière la plus complète. L'instrument qui résulte de cette disposition, suspendu comme l'aiguille d'une boussole, se conduit précisément de la même manière que cette aiguille en présence d'un aimant, et agit à son tour sur l'aiguille d'une boussole précisément comme un aimant. M. Ampère a présenté cet instrument à l'Académie des sciences, après avoir fini la lecture de son mémoire. Les expériences auxquelles

il est destiné et qui ont été répétées devant plusieurs de ses membres, offrent une des preuves les plus frappantes de la théorie de l'auteur sur l'identité de l'électricité et du magnétisme. M. Ampère a aussi conclu des mêmes considérations qu'un tube de verre d'un petit diamètre, entouré des spires d'une hélice assez inclinée, en fil de laiton, forme, lorsque l'autre extrémité du conducteur revient par l'intérieur du tube, un instrument très-simple, et très-commode pour porter le courant électrique où l'on veut, sans que l'action qui lui reste, et qui est alors très-petite, trouble sensiblement celle du reste du conducteur, lorsqu'on veut l'observer ou en mesurer les effets.

Dans la séance du 4 décembre 1820, M. Ampère lut un mémoire sur l'expression analytique des attractions et répulsions des courans électriques; l'objet de ce mémoire, est de montrer que tous les faits relatifs soit à l'action mutuelle de deux aimans, soit à celle d'un conducteur voltaïque et d'un aimant, découverte par M. OErstedt, soit à celle de deux conducteurs qu'il a observés le premier, peuvent être ramenés à une cause unique, consistant dans une force tantôt attractive, tantôt repulsive entre les portions infiniment petites de ce qu'il a nommé courans électriques, mais agissant toujours suivant la ligne qui joint leurs milieux; seule direction dans laquelle l'auteur pense qu'on puisse supposer que s'exerce une force attractive ou répulsive, de quelque nature qu'elle soit. Il s'agissait pour cela de trouver d'abord la loi suivant laquelle cette force doit varier, pour que ses effets soient tels que les offre l'expérience.

M. Ampère a admis que cette action n'est pas

seulement fonction de la distance, mais qu'elle dépend aussi des angles qui déterminent la position respective des deux portions infiniment petites des courans électriques et de la ligne qui en joint les milieux.

Cette supposition ne semble pas d'abord conforme à l'idée qu'on se fait des forces attractives et répulsives; mais c'est uniquement, remarque l'auteur, parce que l'attraction universelle, premier type de cette idée, ne dépendant que de la distance, nous ne sommes pas encore accoutumés à y faire entrer d'autres élémens.

Quoi qu'il en soit, la manière dont la distance entre dans l'attraction de deux courans électriques, est celle qu'il avait annoncée comme la base de toutes ses recherches, dans un précédent mémoire, lu le 9 octobre 1820. En sorte que cette attraction est comme toutes les actions du même genre, observées dans d'autres phénomènes, en raison inverse du carré de la distance pour une même position respective des deux portions infiniment petites de courans électriques que l'on considère.

Le premier résultat qu'en a déduit M. Ampère, par une intégration fort simple, est que, conformément à ce que M. le marquis de Laplace avait trouvé par le calcul, et M. Biot par l'expérience, dans le cas de deux courans rectilignes dont les directions sont parallèles, si l'on suppose un des courans d'une longueur infinie, la résultante des actions de toutes ses parties sur un élément de l'autre, et par conséquent aussi sur une de ses portions d'une longueur déterminée, est en raison inverse de la plus courte distance des deux courans.

L'auteur fait voir que ce résultat est indépendant de la manière dont on admet que l'angle que forment deux portions infiniment petites de courans parallèles avec la ligne qui en joint les milieux, entre dans la valeur de leur attraction mutuelle; il est une suite nécessaire de ce qu'alors cette attraction ne peut dépendre que de cet angle et de la distance entre ces deux petites portions de courans électriques.

Cette loi peut donc être considérée comme une conséquence nécessaire des principes dont M. Ampère avait établi, dans le mémoire que nous venons de citer, qu'on devait partir pour calculer les phénomènes de ce genre; mais il n'en était pas moins important de la vérifier par des expériences précises. Ces expériences avaient déjà été faites par MM. Biot et Savart, et leur avaient donné cette loi, avant qu'elle eût été déduite par le calcul de la théorie de M. Ampère. Ce dernier remarque ensuite que d'après la manière dont les savans auteurs de ces expériences (1) expliquent les phénomènes découverts par M. OErsted, il faut supposer que la force émanée du conducteur voltaïque s'exerce dans un sens perpendiculaire au rayon vecteur, et il n'admet au contraire qu'une force agissant dans la direction de ce rayon. Quelque différence qu'il y ait entre ces deux manières de concevoir les phénomènes, elles conduisent dans un grand nombre de cas aux mêmes conséquences, en sorte que les expériences où ces conséquences se vérifient, ne peuvent servir à décider directement la question. Mais, comme le fait remarquer

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XV, p. 225.

M. Ampère, la manière dont il explique l'action des conducteurs voltaïques sur les aimans, offre le double avantage,

1°. De ne pas supposer que ces conducteurs agissent sur des particules magnétiques dont rien ne démontre l'existence, mais de les considérer comme exerçant leur action sur des dispositions de l'électricité, semblables à celle qu'on établit dans des fils de laiton lorsqu'on les met en communication avec les deux extrémités d'une pile voltaïque, et cela précisément de la même manière qu'ils agissent sur les fils où elles existent dans les expériences où il n'y a point d'aimant.

2°. De n'admettre des forces attractives ou répulsives entre deux points que suivant la ligne qui joint ces deux points.

Ce n'est pas seulement sur les faits découverts par M. OErsted et sur ceux que M. Ampère a fait connaître aux physiciens, qu'il appuie sa théorie. Il en trouve des preuves dans tous les phénomènes que présente l'action mutuelle de deux aimans; il pense qu'on rend plus complètement raison de ces phénomènes, lorsqu'on regarde les aimans comme des assemblages de courans électriques, qu'on ne peut le faire dans la supposition de deux fluides magnétiques, l'un austral, l'autre boréal, adoptée jusqu'à présent. Il cite à l'appui de ses idées quelques-uns de ces phénomènes, auxquels on n'a pas jusqu'à présent fait assez d'attention, et qui ne lui paraissent pouvoir s'expliquer d'une manière satisfaisante qu'en l'adoptant.

M. Ampère démontre ensuite qu'en nommant g, h, les intensités des deux portions infiniment petites de courans électriques, α et β, les angles

que leurs directions font avec la ligne qui en joint les milieux et qui par conséquent en mesure la distance, r la longueur de cette ligne et γ l'angle formé par deux plans passant par la même ligne et par les directions des deux petites portions de courans électriques, l'expression analytique la plus générale de l'action qu'elles exercent l'une sur l'autre, déduite de la loi communiquée à l'Académie dans la séance du 6 novembre dernier, est

$$\frac{gh}{r^2}\left(\sin.\alpha\,\sin.\beta\cos.\gamma+\frac{n}{m}\cos.\alpha\cos.\beta\right),$$

où $\frac{n}{m}$ désigne une fraction constante qui peut être nulle; il expose les raisons qui le portent à croire qu'elle l'est en effet quand cette formule représente l'action dont il est ici question, ce qui la réduit à

$$\frac{gh\sin.\alpha\,\sin.\beta\cos.\gamma}{r^2};$$

il montre qu'on peut en déduire tous les résultats obtenus par MM. Biot et Savart dans des expériences qu'ils ont communiquées à l'Académie, le 30 octobre dernier, sur la mesure précise de l'action découverte par M. OErsted entre un conducteur voltaïque et un aimant; et qu'en général l'hypothèse proposée par les auteurs de ces expériences pour expliquer cette action et la manière dont lui-même l'a auparavant expliquée, conduisent aux mêmes résultats, et ne diffèrent qu'en ce que la première suppose que l'action du conducteur s'exerce sur des molécules de magnétisme boréal et de magnétisme austral : manière de voir qui oblige MM. Biot et Savart à admettre que

cette action est dirigée perpendiculairement aux plans qui passent par ces molécules et par le fil conducteur, tandis qu'en suivant les idées de M. Ampère, on est conduit à regarder les phénomènes découverts par M. OErsted, ainsi que ceux connus depuis long-temps qu'offre l'action mutuelle de deux aimans, comme produits *uniquement par l'électricité*, disposée ou se mouvant dans des courbes fermées et situées dans des plans perpendiculaires à l'axe d'un aimant, précisément comme elle est disposée ou se meut dans un conducteur voltaïque. En sorte qu'il existe entre ces courbes et le fil conducteur la même action que M. Ampère a montrée, par des expériences directes, exister entre deux courans électriques produits par la pile; que cette action est toujours dirigée suivant la ligne qui joint les points entre lesquels elle s'exerce; et qu'on n'est plus obligé de supposer qu'elle a lieu dans une direction perpendiculaire à cette ligne.

Dans la séance du 11 décembre, M. Ampère a lu une note sur quelques expériences qu'il venait de faire: l'une d'elles confirme ce qu'il avait dit dans le mémoire lu le 4 décembre, et tend à prouver qu'en effet la valeur de la fraction $\frac{n}{m}$ est très-petite et doit être considérée comme absolument nulle (1).

M. Ampère termine cette note en remarquant l'analogie que présente la formule

$$\frac{gh \sin.\alpha \sin.\beta \cos.\gamma}{r^2}$$

avec celle qui exprime la quantité de chaleur

(1) Ampère démontrera plus loin que la fraction $\frac{n}{m}$ est égale à $-\frac{1}{2}$. Les conséquences déduites de la formule ainsi simplifiée sont naturellement inexactes. J.

rayonnante qu'une portion infiniment petite de surface reçoit d'une autre petite portion de surface ou qu'elle lui envoie. Il résulte de cette analogie que deux portions de surface couvertes de courans électriques dirigés dans le même sens exercent, à quelque distance que ce soit, la même action attractive ou répulsive sur un point pour lequel elles interceptent des portions égales d'une surface sphérique infinie, de même que des surfaces également échauffées exercent, dans le même cas, la même action calorifique. Il s'ensuit aussi que si les courans électriques des deux surfaces ont lieu en sens contraire, les actions qu'elles exercent dans ce cas se détruisent mutuellement. C'est sur cette considération que M. Ampère fonde une explication très-simple des diverses circonstances qu'on observe dans l'action mutuelle de deux aimans. Il en indique plusieurs, qui résultent immédiatement de cette conséquence de sa formule, et qui ne s'expliquent pas aussi bien dans l'hypothèse ordinaire sur la cause des phénomènes magnétiques. Quelques faits semblent si peu d'accord avec cette hypothèse, qu'on ne voit guère comment ceux qui l'adoptent pourraient en rendre raison. Tels sont la disposition de la limaille de fer sur un parallélipipède d'acier aimanté ; le changement d'attraction en répulsion entre un aimant et un fil conjonctif dont les directions font un angle droit, quand le fil conjonctif, en se mouvant parallèlement à lui-même, passe d'une situation où il correspond à l'intervalle des deux pôles de l'aimant, à une situation où il se trouve hors de cet intervalle ; et une observation de M. Boisgiraud, que ce physicien a publiée avec d'autres expériences inté-

ressantes, dans le cahier de novembre des *Annales de Chimie et de Physique*.

Dans la séance du 18 décembre 1820, M. Biot lut un mémoire où il donna, d'après l'expérience, la loi suivant laquelle l'action d'un conducteur voltaïque est à chacun de ses points proportionnelle au sinus de l'angle que forme sa direction avec la ligne menée de ce point à celui sur lequel il agit, conformément à la formule que M. Ampère avait communiquée le 4 décembre à l'Académie et dont il avait parlé à M. Arago dès le 8 novembre en rédigeant avec lui une note insérée deux jours après dans le *Moniteur*. Les expériences que M. Biot rapporte dans son mémoire ont été faites postérieurement à cette dernière époque, mais avant le 4 décembre et sans qu'il eût connaissance de la formule dont le résultat qu'il a obtenu est un cas particulier.

Dans la séance du 26 décembre suivant, M. Ampère lut un mémoire qui est une suite de celui qu'il avait lu le 4 du même mois et dans lequel, après avoir montré l'importance de la loi qu'il avait communiquée à l'Académie le 6 novembre 1820, par les conséquences qu'il en avait tirées, l'auteur avait annoncé que cette loi n'ayant encore été vérifiée qu'à l'égard des conducteurs pliés en hélice, il s'occuperait des moyens de s'assurer qu'elle n'avait pas lieu seulement dans le cas où les conducteurs sont de cette forme, mais à l'égard des courans électriques en général, de quelque manière que soient disposés les fils métalliques qu'ils parcourent.

Comme c'est de cette loi qu'il a déduit l'expression analytique de l'action mutuelle de deux portions infiniment petites de courans électriques, dont on peut conclure par les mé-

thodes ordinaires d'intégration toutes les circonstances de cette action, pour des courans de grandeur finie, soit à l'égard de ceux qu'on produit avec une pile de Volta, soit à l'égard des courans disposés dans les aimans de la manière qu'il a précédemment expliquée, on sent qu'il a dû chercher les moyens de la vérifier par des expériences directes et susceptibles de précision.

D'après l'énoncé déjà donné de cette loi, il est aisé de voir qu'elle se réduit à ceci :

Si l'on fixe sur la direction d'un courant électrique deux points infiniment rapprochés, et qu'on substitue à la petite portion de courant comprise entre ces points une autre portion de ce même courant, suivant une ligne pliée ou contournée d'une manière quelconque, mais se terminant toujours aux mêmes points sans s'en écarter nulle part à une distance finie, cette substitution ne changera en aucune manière l'action exercée dans quelque direction que ce soit, par la petite portion de courant que l'on considère sur une autre portion de courant électrique éloignée de la première d'une quantité finie.

M. Ampère remarque qu'il n'en est ainsi que parce que tous les points de la ligne supposée infiniment petite sont censés à la même distance de celui sur lequel elle agit : d'où il suit que l'action d'un circuit fermé infiniment petit serait nulle, par la compensation qui aurait toujours lieu entre l'attraction exercée par une de ces moitiés et la répulsion exercée par l'autre sur un point situé à une distance finie; mais les forces égales dues à l'action de ce point sur les deux moitiés du circuit, n'en tendraient pas moins à placer celui-ci dans une direction déterminée qu'elles conspirent à lui donner. Les cou-

rans électriques d'un aimant devant être considérés comme des circuits infiniment petits relativement à leurs distances aux courans terrestres, sont ainsi amenés, par l'action de ces derniers, dans une direction déterminée, sans qu'il en résulte aucune force tendant à les transporter dans l'espace, ce qui est conforme à l'expérience. Si un circuit d'une grandeur finie produit des attractions ou des répulsions, c'est uniquement parce que l'action diminuant en raison inverse du carré de la distance, il n'y a plus, entre les actions produites par ses diverses portions qui se trouvent à différentes distances du courant électrique ou de l'aimant sur lequel il agit, la même compensation qui aurait lieu nécessairement, si elles étaient toutes à la même distance de ce courant ou de cet aimant.

L'auteur donne ensuite la description d'un instrument * propre à vérifier directement la loi que nous venons d'énoncer, instrument qu'il a depuis fait construire, et avec lequel il a fait des expériences qui en confirment pleinement l'exactitude, quelle que soit la manière dont les petites portions du fil conducteur sont pliées ou contournées. Cet instrument se compose de deux règles verticales entre lesquelles on suspend, comme l'aiguille de la balance de torsion et à égales distances de l'une et de l'autre, un conducteur parallèle à ces deux règles, mobile autour d'un axe vertical, et qu'il est bon de rendre astatique en composant la partie mobile de l'appareil de deux circuits presque fermés égaux et opposés, ce qui rend nulle l'action que le globe terrestre exerce sur lui; on peut aussi faire l'expérience sans cette précaution, mais

* ~~Cet~~ instrument est représenté Planche 6, figure 16.

alors il faut que le plan des deux règles soit parallèle à celui du méridien magnétique, afin que le plan de la partie mobile lui soit perpendiculaire ; tandis que ce dernier plan peut être placé dans le vertical qu'on veut, quand cette partie est astatique : on place alors le conducteur vertical mobile à égale distance des deux règles, en faisant tourner la pince à laquelle est attachée l'extrémité supérieure du fil à l'extrémité inférieure duquel la partie mobile est suspendue. Ces deux règles portent deux fils de laiton qui font partie d'un même circuit dont les extrémités communiquent avec celles de la pile. La partie de chaque fil qui est sur la surface de la règle qui la porte, est rectiligne pour l'une, et pliée et contournée à chacun de ses points pour l'autre ; le reste du circuit se compose de deux parties égales et semblables, placées à égales distances des deux côtés du ~~petit aimant~~. On établit les communications de manière que le courant qui a lieu dans les deux moitiés du circuit, exerce sur le conducteur ~~mobile~~ des actions qui tendent à se détruire mutuellement. Comme ces deux moitiés du circuit ne diffèrent qu'en ce qu'une partie rectiligne de l'une correspond à une partie de l'autre, pliée et contournée comme nous venons de le dire, il est évident que, dans le cas où les plis et les contours de cette dernière rendraient son action plus grande ou plus petite que celle de la partie rectiligne de l'autre moitié du circuit, le conducteur mobile serait dévié par une force égale à la différence de ces deux actions, au lieu que si la loi énoncée plus haut est exacte, ce conducteur reste dans la situation où on l'avait mis avant d'établir les communications, en équilibre entre deux forces égales. C'est en cons-

tatant qu'il en est en effet ainsi, que l'expérience démontre l'exactitude de cette loi. Une fois qu'elle est mise hors de doute, la formule qu'a donnée M. Ampère s'en déduit aisément par une démonstration purement géométrique que l'auteur a insérée dans le cahier de septembre du *Journal de Physique*; il a aussi tenté l'expérience que nous venons de décrire en substituant un petit aimant à la portion mobile de fil conjonctif suspendue entre les deux conducteurs, mais il a reconnu que ce moyen n'est point propre à atteindre le but désiré, parce que les courans électriques de l'aimant ayant lieu dans des courbes fermées d'une grandeur comparable à celle des contours du conducteur fixe non rectiligne, si elles ne sont même beaucoup plus petites, il en résulte entre l'aimant et ce conducteur une action compliquée, qui n'est plus représentée par la somme des projections longitudinales des replis et des contours qu'il forme, et ne se réduit plus à celle d'un conducteur rectiligne dont la longueur égalerait la distance des deux extrémités du conducteur plié et contourné.

Dans un dernier mémoire lu à l'Académie des Sciences, les 8 et 15 janvier 1821, M. Ampère a donné quelques essais de calcul, relatifs à l'action mutuelle d'un fil conjonctif et d'un aimant, d'après les formules qui lui servent pour déduire de la loi dont nous venons de parler toutes les circonstances de cette action; il l'a terminé par l'examen d'une question qui ne lui paraît pas susceptible d'être résolue d'une manière certaine avant qu'on ait poussé plus loin ces calculs et qu'on en ait comparé les résultats avec ceux de l'expérience dans des cas où l'on n'a point encore fait d'observation précise. Il s'agit de savoir si

les courbes fermées suivant lesquelles ont lieu les courans électriques qui donnent à l'acier aimanté les propriétés qui le caractérisent, sont situées concentriquement autour de la ligne qui joint les deux pôles de l'aimant, ou si ces courans sont répartis dans toute sa masse autour de chacune de ses particules, toujours dans des plans perpendiculaires à cette ligne. Plusieurs considérations que l'auteur n'a pas développées, lui semblent donner quelques probabilités de plus à cette dernière manière de concevoir l'existence des courans électriques dans les aimans; mais comme presque tous les phénomènes connus jusqu'à présent s'expliquent également bien dans la première, il a cru devoir laisser cette question indécise, jusqu'à ce que de nouveaux calculs et de nouvelles expériences aient fourni toutes les données nécessaires à sa solution. / (1)

L'auteur a donné dans les mêmes mémoires deux transformations de la formule

$$\frac{gh \sin.\alpha \sin.\beta \cos.\gamma}{r^2},$$

elles consistent en ce que si l'on nomme k la plus courte distance des directions des deux petites portions de courans électriques, c l'angle de ces directions, x, z, les distances des milieux de ces petites portions de courans à la ligne k, et u, v, leurs distances à l'intersection de deux plans élevés perpendiculairement sur ces milieux, la formule devient :

$$\frac{gh(k^2 \cos.c + xz \sin.^2 c)}{r^4},$$

ou

$$\frac{gh}{r^2}\left(\cos.c + \frac{uv \sin.^2 c}{r^2}\right).$$

(1) Une demie page supprimée renfermant une transformation de la formule indûment simplifiée de la page . J.B.

Lettre *à M.* Berthollet *sur l'Etat magnétique des corps qui transmettent un courant d'électricité.*

Par Mr J. Berzelius.

Je me suis occupé de quelques expériences pour vérifier la belle découverte de M. OErsted, relative à l'influence exercée sur l'aiguille aimantée par un fil de métal qui décharge la pile voltaïque. C'est une chose extrêmement intéressante de voir l'électricité, la lumière, le calorique et enfin le magnétisme, se produire en même temps et par une même cause. Serait-il un jour possible de démêler ce que c'est que tous ces phénomènes ?

Il y a quelque chose de mystérieux dans les expositions que l'on a faites des phénomènes magnétiques d'un fil conducteur : cependant ces phénomènes sont très-faciles à concevoir lorsqu'on étudie l'état magnétique du conducteur ; étude qui a été l'objet de quelques-unes de mes expériences dont je vais vous communiquer le résultat.

Il est connu que les corps qui possèdent la vertu magnétique sont dans un état de polarité qui généralement suit la longueur du corps ; mais comment concevoir cela dans un fil mince, magnétique dans le sens de sa largeur, et qui paraît changer de polarité suivant que l'aiguille aimantée se trouve au-dessus ou au-dessous de lui ?

Dans le voisinage d'un fil conducteur magnétique, l'aiguille aimantée se trouve sous l'influence de deux forces : celle du fil devenu magnétique et celle du magnétisme

de la terre ; la direction qu'elle prend devient donc le résultat de l'action commune de ces deux forces. M. OErsted a fait voir que la direction ordinaire de l'aiguille aimantée reste sans altération lorsque le fil conducteur fait un angle droit avec l'axe de l'aiguille : c'est que, dans ce moment, le magnétisme du courant et celui de la terre agissent dans le même sens : l'aiguille aimantée prendrait toujours cette position relativement au conducteur si le magnétisme de la terre n'existait pas. Il s'ensuit donc que la tension ou la polarité magnétique fait des angles droits avec la direction du courant électrique.

Les expériences suivantes ont été faites avec une seule paire de zinc et de cuivre. La plaque de zinc était un carré de 12 pouces de côté, qui plongeait dans une auge de cuivre, large d'un pouce. Pour conducteur humide, je me suis servi d'un mélange de 60 parties d'eau avec 1 p. d'acide sulfurique. Le fil conducteur fit dévier l'aiguille aimantée de 25 degrés de chaque côté.

J'ai substitué au fil une feuille très-mince d'étain laminé de 8 pouces de longueur sur 2 p. de largeur, dont j'ai marqué le milieu par un trait longitudinal. J'ai étendu cette feuille dans la direction du méridien et dans un plan vertical à l'horizon. Auprès de cette feuille j'ai placé mon aiguille aimantée, suspendue sur un pivot que je pouvais hausser et baisser à volonté sans donner du mouvement à l'aiguille. J'ai ensuite examiné ce qui se passait dans l'aiguille lorsque je liais le zinc et le cuivre au moyen de cette feuille. Descendue vers le bord inférieur de la feuille d'étain, l'aiguille fut repoussée à 20 degrés du méridien magnétique. En la faisant remonter doucement vers le bord supérieur, cette décli-

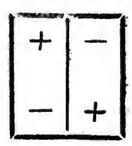
naison diminua jusqu'à ce que l'aiguille eut repris sa première position parallèle au méridien magnétique. Elle était alors dans le même plan horizontal que la ligne du milieu de la feuille : mais l'aiguille panchait, comme cela avait aussi lieu dans les expériences de M. OErsted lorsque l'aiguille aimantée se trouvait dans le même plan horizontal avec le fil conducteur. En faisant remonter l'aiguille vers le bord supérieur de la feuille, elle en fut attirée jusqu'à ce qu'elle déclina 20° de l'autre côté du méridien magnétique; au-delà des bords de la feuille la déclinaison diminua assez promptement. Je détachai à moitié un morceau du bord supérieur de la feuille, et je le tournai en haut, de manière à former un point qui s'élevait un demi-pouce au-dessus du bord. Je fis ensuite remonter l'aiguille, ayant l'un de ses poles près de ce point. La déclinaison que l'aiguille montrait au bord, se conservait aussi long-temps qu'elle se trouvait près du morceau relevé; elle était visiblement moindre à la même distance du bord uni. J'ai ensuite fait passer le courant électrique par un carré d'étain laminé, dans la direction de deux angles opposés. En examinant, au moyen de l'aiguille, l'état magnétique de ce carré, il se trouvait que les deux autres angles opposés étaient devenus polaires, et que la plus grande déclinaison eut lieu aux deux pointes. Plus on fait le carré grand, plus l'intensité magnétique diminue; mais c'est toujours dans les points opposés les plus reculés du conducteur que la déclinaison est à son *maximum* : circonstance qui prouve que la polarité magnétique du courant cherche les extrémités opposées, tout comme cela a lieu dans la polarité électrique et dans celle des aimans artificiels.

Tous ces phénomènes auraient eu lieu si je me fusse servi, au lieu de la feuille d'étain, d'un aimant artificiel mince et plus large que long. Mais la feuille présentait encore un phénomène que l'aimant n'aurait pas produit : c'est que les mêmes effets se passèrent au même degré de l'autre côté de la feuille : le bord supérieur, qui, du côté de l'est, attira le pole austral, le repoussa du côté de l'ouest. L'aimant ordinaire aurait attiré le même pole des deux côtés. Les phénomènes magnétiques de la feuille se passent donc comme si l'on avait appliqué l'un contre l'autre et en sens inverse, deux aimans très-minces et également forts.

J'ai répété l'expérience avec la feuille d'étain en rendant sa largeur parallèle à l'horizon, et en gardant toujours la direction parallèle au méridien magnétique. Dans cette position, elle agissait sur l'aiguille absolument comme un fil. La déclinaison de l'aiguille était à son *maximum* lorsque son centre de rotation se trouvait au milieu de la feuille. Il est évident qu'une aiguille qui se meut dans un plan horizontal ne saura marquer aucune ligne de culmination magnétique sur une surface horizontale; mais en mettant en équilibre une aiguille qui se meut dans un plan vertical, et en la faisant passer dessous la surface magnétique d'un côté à l'autre, on trouve que l'aiguille aimantée reste en équilibre au milieu de la surface, et que les bords attirent et repoussent chacun son pole.

Par ces expériences, nous concevons quel doit être l'état magnétique d'un parallélipipède métallique, par lequel passe le courant électrique. Chacune de ses arêtes est un pole magnétique dont la largeur est égale à la

longueur du parallélipipède, ou plus exactement à la dimension du parallélipipède que le courant parcourt; les arêtes diamétralement opposés contiennent la même espèce de polarité, tandis que celles qui terminent la même face contiennent une polarité opposée. On peut donc représenter l'état magnétique intérieur sur la coupe transversale du conducteur, par celui de deux aimans appliqués par leurs poles opposés l'un contre l'autre, à-peu-près comme la figure ci-après le représente.



Il paraît que chacune des deux électricités doit être représentée par son aimant, et que chacune a son pole magnétique analogue tourné vers le même côté par rapport à sa direction.

Si au parallélipipède on substitue un cylindre, l'état magnétique de celui-ci sera le même; mais les phénomènes magnétiques seront plus difficiles à examiner sous cette forme : c'est cependant celle avec laquelle on les a jusqu'ici étudiés.

Il me parut probable qu'un cube par lequel passe un courant électrique pouvait présenter quelque distribution magnétique particulière; mais en rendant une des arêtes d'un cube métallique parallèle au méridien magnétique, et en faisant passer un courant électrique dans cette direction par le cube, j'ai trouvé qu'une aiguille aimantée placée au-dessous de la surface inférieure a décliné comme à l'ordinaire : preuve que le cube

n'est sous ce rapport qu'un parallélipipède très-court.

L'exposition que je viens de donner explique tous les phénomènes magnétiques du courant électrique observés jusqu'à présent, et laisse prévoir tous ceux dont le corps conducteur pendant cet état est susceptible. Il est évident que les phénomènes du magnétisme ordinaire diffèrent de ceux du courant en ce que, dans ces derniers, il y a une polarité double et inverse, tandis que, dans les aimans ordinaires, il n'y a que polarité simple; et bien que l'on puisse imiter artificiellement la polarité magnétique double, nous ne connaissons point encore un moyen d'imiter par l'électricité la polarité magnétique simple. Il y a donc une différence bien établie entre ces deux états de polarisation magnétique, de manière qu'on ne peut pas attribuer les phénomènes magnétiques des aimans ordinaires, c'est-à-dire, d'une polarité simple, à un courant électrique qui les traverserait continuellement dans un sens perpendiculaire à leur axe de polarisation, comme M. Ampère vient de le conjecturer. Quelques savans prétendent que notre globe a quatre poles magnétiques; mais si cela est ainsi, les poles homologues sont tournés du même côté, de manière que l'on peut les considérer comme un seul interrompu par une substance non magnétique.

M. Œrsted a eu recours à une hypothèse ingénieuse à la vérité, mais fort improbable, savoir, que les phénomènes magnétiques du courant doivent leur origine à un mouvement en hélices des deux électricités, dont l'une détermine la position de l'aiguille au-dessus, et l'autre au-dessous du fil conducteur. La po-

larité magnétique double du conducteur me paraît être une explication bien plus simple et plus vraisemblable.

Lettre *de M.* Ampère *à M.* Arago.

« Monsieur et cher ami,

» Je pense que vous vous proposez de publier, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, la lettre de M. Berzelius à M. Berthollet, qui a été communiquée à l'Académie, dans la séance du 8 janvier 1821. Le nom seul de l'auteur de cette lettre suffirait pour faire desirer à tous ceux qui s'intéressent aux progrès des sciences, de connaître ce que pense cet illustre chimiste de l'action entre les conducteurs voltaïques et les aimans découverte par M. Œrsted. M. Berzelius l'a écrite avant qu'il pût avoir aucune connaissance de celle dont j'ai reconnu l'existence, au mois de septembre dernier, entre deux conducteurs voltaïques, et des conséquences que j'en ai tirées relativement à l'identité des fluides électriques et magnétiques ; les expériences qu'il y décrit sont une suite immédiate de la théorie fondée sur cette identité, et je crois utile aux progrès de cette branche de la physique de vous faire part des réflexions que m'a suggérées la lecture qui en a été faite à l'Académie, pour que vous puissiez aussi les insérer dans les *Annales*, si vous jugez qu'elles soient dignes d'y paraître.

» Les observations de M. Berzelius sur la cause pour laquelle M. Œrsted n'avait obtenu dans ses expériences qu'une déviation toujours moindre qu'un angle droit, ne peuvent laisser aucun doute sur ce que cette cause ne

(1) Ann. de Ch. et de Phys. [2] tome XVI [illegible]
Recueil p. 15 - 108 –

soit dans l'action du globe terrestre, qui se combinait, dans ces expériences, avec celle du conducteur voltaïque, et je n'en parlerai ici que pour vous rappeler que, dans la séance de l'Académie du 25 septembre 1820, j'ai montré la même chose, par une expérience directe, à l'aide de l'instrument représenté dans la planche 4 du tome XV des *Annales de Chimie* : l'aiguille aimantée de cet instrument ne pouvant se mouvoir qu'en tournant dans un plan perpendiculaire à l'aiguille d'inclinaison, l'action du globe terrestre ne tendait plus à lui donner aucune direction déterminée, et il fut constaté, dans cette séance, que quand le conducteur voltaïque agissait sur elle, elle se plaçait constamment dans une direction perpendiculaire à la sienne.

» M. Berzelius a examiné les effets que produit sur l'aiguille aimantée une feuille très-mince d'étain laminée, située dans le plan du méridien magnétique, et dont la largeur était, dans ses expériences, de deux pouces. Quand cette feuille communique avec les deux extrémités de la pile, il doit s'y former, dans le sens de sa longueur et suivant des lignes horizontales, une série de courans électriques; ceux de ces courans qui se trouvent au-dessus du plan horizontal menés par le point de suspension de l'aiguille aimantée soumise à l'action de la feuille d'étain, doivent, d'après la théorie, faire tourner l'aiguille dans un sens, tandis que ceux qui se trouvent au-dessous du même plan doivent la faire tourner en sens contraire; d'où il suit, comme l'a observé M. Berzelius, que le *maximum* d'action a lieu dans le premier cas quand l'aiguille est de niveau avec le bord inférieur de la feuille d'étain, et dans le second quand elle l'est avec son bord supérieur, puisque ce n'est qu'alors que tous les courans agissent

dans le même sens sur l'aiguille à la moindre distance possible. Lorsque l'aiguille est plus haut que le bord supérieur de la feuille d'étain, ou plus bas que son bord inférieur, tous les courans agissent encore dans le même sens, mais l'augmentation de la distance diminue l'intensité de leur action sur l'aiguille; quand celle-ci est à une hauteur plus grande que celle du bord inférieur, et plus petite que celle du bord supérieur, une partie des courans agit dans un sens, et l'autre dans le sens contraire : l'effet n'est produit que par la différence de leurs actions; il est donc nécessairement moindre que dans les cas où ils agissent tous dans le même sens : quand l'aiguille répond au milieu de la largeur de la feuille d'étain, cette différence devient nulle, et l'action des courans électriques pour faire tourner l'aiguille dans le plan horizontal qui passe par son centre de gravité l'étant par conséquent aussi, cette aiguille revient par l'action terrestre dans un plan parallèle au méridien magnétique; mais si ces extrémités peuvent alors s'élever ou s'abaisser dans ce plan, elle s'incline en s'approchant de la situation verticale où elle aurait son pole austral à gauche des courans électriques de la feuille d'étain ; elle se placerait même dans cette situation verticale sans l'action de la pesanteur qui l'en empêche, lorsque l'aiguille est suspendue comme elle l'est ordinairement, parce que son centre de gravité se trouvant au-dessous du point de suspension, la pesanteur tend à ramener l'aiguille dans le sens horizontal. Cette sorte d'inclinaison, produite par un conducteur voltaïque dans une aiguille aimantée qui lui est parallèle, et situé dans un même plan horizontal, observée par M. Œrsted, est le même fait que la déviation de cette aiguille, quand elle

est placée au-dessus ou au-dessous d'un conducteur horizontal parallèle au méridien magnétique, ainsi que je l'ai fait voir dans mon premier Mémoire sur ces phénomènes, lorsque, dès le 18 septembre dernier, j'ai réuni ces deux cas sous cet énoncé général :

« Lorsqu'un aimant et un conducteur agissent l'un sur » l'autre, et que l'un d'eux étant fixe, l'autre ne peut que » tourner dans un plan perpendiculaire à la plus courte » distance du conducteur et de l'axe de l'aimant, celui » qui est mobile tend à se mouvoir, de manière que les » directions du conducteur et de l'axe de l'aimant for- » ment un angle droit, et que le pole de l'aimant qui » regarde actuellement le nord (le pole austral) soit à » gauche du courant électrique (1). » Il est aisé de voir en effet, que quand l'aiguille aimantée est au-dessus ou au-dessous du conducteur, la ligne qui mesure leur plus courte distance est verticale, en sorte que l'aiguille tend, d'après cette règle générale, à tourner dans un plan horizontal, tandis que quand l'aiguille est à côté du conducteur et de niveau avec lui, la ligne qui mesure la plus courte distance est horizontale, et que l'aiguille tend, d'après la même règle, à tourner dans un plan vertical.

» Les deux expériences que M. Berzelius rapporte ensuite dans sa lettre rentrent dans celle dont je viens de parler; mais elles n'en sont pas moins intéressantes pour les physiciens, en prouvant que quelle que soit la forme du contour d'une feuille métallique qui fait partie d'un circuit voltaïque, il s'établit dans tous les points de cette feuille des courans électriques dirigés de l'extrémité positive de la pile à son extrémité négative. Les courans

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XV, p. 197.

doivent, d'après la théorie, être disposés dans la première de ces deux expériences, comme on le voit fig. 12, et dans la seconde, comme on le voit fig. 13; il est aisé d'en conclure l'action qu'ils doivent exercer sur l'aiguille aimantée, et cette action se trouve être précisément celle que M. Berzelius a observée.

» L'auteur insiste sur ce que, dans cette dernière expérience où la feuille d'étain a la forme d'un carré *ACBD* (*fig.* 13) qui communique avec la pile par les angles *A*, *B*, le *maximum* de déviation de l'aiguille aimantée a lieu quand elle est dans un des deux plans horizontaux qui passent par les angles *C*, *D*; mais il est évident que cela ne peut être autrement, quelle que soit la cause du phénomène, puisque ce n'est qu'alors que les courans électriques se trouvent, à la plus petite distance possible, tous au-dessus ou tous au-dessous de l'aiguille.

» M. Berzelius remarque ensuite avec raison que tous ces phénomènes auraient eu lieu s'il se fût servi, au lieu de la feuille d'étain, d'un aimant artificiel mince et plus large que long; mais que la feuille présente encore un phénomène que l'aimant n'aurait pas produit, c'est que le bord supérieur de la feuille fait toujours tourner l'aiguille du même côté, soit qu'on la place à l'est ou à l'ouest de ce bord dans le plan horizontal où il se trouve, tandis qu'un aimant mince et plus large que long, tel que celui qui est représenté dans la fig. 14, en en supposant les poles en *C* et *D*, fait, dans les mêmes circonstances, tourner dans un sens l'aiguille aimantée lorsqu'elle est à l'est de cet aimant, et dans le sens opposé lorsqu'elle est à l'ouest.

» Rien ne peut mieux que cette observation confirmer ce que j'ai dit sur la disposition des courans électriques

des aimans auxquels sont dues toutes leurs propriétés.

» En effet, la feuille d'étain *AB* (fig. 15), communiquant en *A* et en *B* avec les deux extrémités de la pile, est un système de courans horizontaux qui se trouvant tous, dans cette expérience, plus bas que l'aiguille aimantée, la font mouvoir toujours dans le même sens, et comme le ferait un conducteur unique placé au-dessous d'elle; mais l'aimant *AB* (fig. 14) que M. Berzelius suppose qu'on substitue à cette feuille, est un assemblage de deux systèmes de courans, l'un formé des courans qui se trouvent du côté de l'aimant qu'on voit en avant dans la figure, et qui vont, par exemple, de *A* en *B*, l'autre des courans qui reviennent de *B* en *A* de l'autre côté de l'aimant, c'est-à-dire derrière lui lorsqu'on le regarde comme il est représenté dans la figure. Lorsqu'on place l'aiguille aimantée dans un plan horizontal passant par le bord supérieur *EF* de cet aimant, tantôt à l'est, tantôt à l'ouest, elle prend la direction que tend à lui donner celui de ces deux systèmes de courans qui en est à une moindre distance, et comme leurs directions sont opposées, ils tendent à la faire tourner dans des sens qui sont aussi opposés l'un à l'autre; quand l'aiguille est à l'est de l'aimant c'est celui de ces systèmes de courans dont elle est le plus près qui détermine le sens de son mouvement; quand elle est à l'ouest elle est plus près de l'autre, et se meut par conséquent en sens contraire.

» Il ne faut pas perdre de vue que j'ai établi sur un grand nombre de faits que ce n'est point sur les poles des aimans, mais sur les courans électriques qui ont lieu dans des plans perpendiculaires à leurs axes, que

s'exerce l'action des courans électriques, soit d'un conducteur voltaïque, soit d'un autre aimant, et que cette action tend uniquement à amener les premiers dans des situations parallèles aux seconds, de manière qu'ils soient dirigés dans le même sens que ces derniers ; on voit par là qu'un seul système de courans, comme celui de la feuille d'étain, par exemple, doit toujours faire tourner du même côté l'aiguille aimantée qu'on place auprès de lui dans le plan horizontal passant par son bord supérieur, soit qu'elle soit à l'est ou à l'ouest de ce bord, et qu'il faut deux systèmes de courans dirigés en sens contraire sur les deux côtés opposés de l'aimant dont parle M. Berzelius, pour que cet aimant fasse mouvoir l'aiguille en deux sens contraires, suivant qu'elle en est à l'est ou à l'ouest, comme il la fait mouvoir en effet dans l'expérience décrite par ce grand physicien.

» Il suppose cependant que c'est dans la feuille d'étain que se trouve ce qu'il appelle une double polarisation, et que la polarisation est simple dans un aimant ; il s'appuie sur cette donnée de l'expérience : si l'on place contre l'aimant, qu'il compare à la lame d'étain, un autre aimant pareil au premier, de manière qu'ils se touchent par toute l'étendue de l'une de leurs plus grandes faces, telle qu'est la face *GHIK* (fig. 14), et que les poles d'espèces opposées se trouvent du même côté dans les deux aimans, de manière que l'un ait en bas, par exemple, son pole austral et l'autre son pole boréal, l'assemblage de ces deux aimans agira sur l'aiguille comme la feuille d'étain ; mais cela est aussi une suite nécessaire de la théorie que j'ai exposée dans le tome XV des *Annales de Chimie et de Physique* ; car il y a alors quatre systèmes de courans, deux dans chaque

aimant. Ceux de ces systèmes qui se trouvent dans chaque aimant du côté de la face par laquelle ils se touchent sont alors dans le même sens, et ceux qui se trouvent du côté opposé ont lieu dans l'autre sens, l'un de ceux-ci se trouvant toujours plus près de l'aiguille que ne le sont les premiers, c'est leur action qui est toujours prépondérante; et par conséquent, soit qu'on place à l'est ou à l'ouest de ces deux aimans l'aiguille qu'on suppose toujours dans le plan horizontal passant par leur bord supérieur, elle prendra dans les deux cas la même direction comme lorsqu'elle est mue par le système unique des courans électriques de la feuille d'étain.

» M. Berzelius ajoute que, quoiqu'on puisse imiter avec la pile voltaïque ce qu'il appelle la *polarité double*, on ne peut imiter ce qui a lieu dans les aimans, et qu'il nomme *polarité simple*; c'est là l'unique objection qu'il oppose à la manière dont j'ai expliqué l'action mutuelle d'un aimant et d'un conducteur, découverte par M. Œrsted, et celle de deux conducteurs que j'ai observée le premier. Mais cette imitation parfaite de tous les phénomènes que présente un aimant est précisément ce que j'ai obtenu à l'aide de l'instrument décrit dans le tome XV des *Annales de Chimie et de Physique*, et représenté dans les planches qui y sont jointes (pl. 2, fig. 3), au moyen d'un fil métallique qu'on met en communication avec les deux poles de la pile, et dont une partie est renfermée dans un tube de verre et l'autre est pliée en hélice autour de ce tube. D'après les lois mathématiques de l'action qu'exercent les conducteurs voltaïques, celle de la partie pliée en hélice se compose de deux autres, dont l'une est égale à celle que produirait un conducteur rectiligne placé dans l'axe de l'hé-

lice et de même longueur que cet axe, et l'autre à celle qui résulterait d'autant de courans électriques circulaires dans des plans perpendiculaires à cet axe que l'hélice a de spires. La première action est détruite par l'action égale et opposée de la partie du conducteur enfermée dans le tube, en sorte qu'il ne reste que celle des courans circulaires parfaitement identique, comme le prouve l'expérience, à celle d'un aimant qu'on substituerait simplement à ce tube; identité qui se vérifie, soit en suspendant le tube comme l'aiguille d'une boussole, et le soumettant à l'action d'un aimant ou d'un fil conducteur, soit en se servant, au contraire, de ce tube comme d'un barreau aimanté, pour étudier son action sur l'aiguille.

» C'est cette expérience qui montre d'une manière plus directe l'identité des fluides électriques et magnétiques; elle répond en même temps à toutes les objections qui m'ont été faites sur ce qu'en supposant l'aimant composé, comme je l'ai dit, de courans électriques, il n'en résulterait pas tous les phénomènes que présentent les aimans; mais ce n'est pas seulement sur elle que j'établis cette identité; tous les faits que j'ai observés depuis six mois, et vos découvertes sur l'aimantation de l'acier par l'électricité produite, soit par une pile voltaïque, soit par une machine électrique ordinaire, s'accordent à prouver la vérité de la théorie qui range tous les phénomènes de l'aimant parmi les phénomènes purement électriques, et je ne doute pas que cette théorie ne fût bientôt généralement adoptée si, au lieu de se borner à examiner l'action mutuelle des conducteurs voltaïques sur les aimans, on s'occupait avec le même soin de l'action que deux fils conducteurs exercent l'un

sur l'autre, et de celle du globe terrestre sur un conducteur. En multipliant et variant les expériences sur ce sujet, on observe, à chaque instant, des effets dont on ne peut se rendre raison qu'en partant de la théorie que j'ai donnée de ces phénomènes, et qui en découlent si immédiatement qu'elle aurait pu servir à les prévoir d'avance. Ces expériences n'exigent, au reste, qu'un appareil voltaïque d'une force moyenne; j'ai fait toutes les miennes avec une pile formée de douze plaques de zinc d'un pied carré, plongeant dans le liquide acide indiqué par M. OErsted, de manière que la surface totale de ces plaques en contact avec l'eau acidulée renfermée dans des vases de cuivre d'un pied de hauteur et d'un pied de longueur sur une largeur de huit ou dix lignes, était de plus de vingt pieds carrés.

» Les observations que vous venez de lire, M. et cher ami, ne m'ont été inspirées que par le desir d'indiquer aux savans qui mettraient à la question de l'identité des fluides électriques et magnétiques l'importance dont je crois que cette question est pour les progrès de la physique, quelques-uns des motifs qui me portent à regarder cette identité comme démontrée. Bien loin d'avoir eu l'idée de combattre l'illustre auteur de tant de découvertes dans les diverses branches des sciences chimiques et physiques, c'est à M. Berzelius lui-même que je soumets les remarques que m'a suggérées la lecture de la lettre qu'il a écrite à M. le comte Berthollet. Je serais trop heureux si elles ne lui paraissaient pas indignes de son suffrage. »

NOTICE *sur les Expériences électro-magnétiques de MM.* Ampère *et* Arago, *lue à Séance publique de l'Académie royale des sciences de Paris, le 2 avril* 1821.

PAR M. AMPÈRE.

UN nouveau genre de phénomènes, aussi remarquables par leur singularité que par les nombreuses applications qu'ils font espérer, s'est offert récemment aux regards des physiciens. Plusieurs d'entre eux, tant en France que dans le reste de l'Europe, en ont fait avec plus ou moins de bonheur l'objet de leurs recherches. Tandis que le mouvement imprimé à l'esprit humain par cette brillante découverte promet à l'une des branches les plus intéressantes de la physique des progrès comparables, peut-être, à ceux que dut la théorie de la lumière au travail, sur la polarisation, d'un collègue (1) dont tous les membres de l'académie pleureront long-tems la perte, j'ai pensé qu'il me serait permis de rappeler, dans cette séance solennelle, que des Français entrèrent les premiers dans la carrière qui venait de s'ouvrir, et qu'ils y rencontrèrent aussi quelques faits nouveaux. Je m'étais d'abord proposé de présenter, dans cette notice, l'ensemble de leurs recherches; mais comme on en trouve une exposition complète dans *l'analyse*, publiée aujourd'hui même, *des travaux de l'académie pendant l'année* 1820, j'ai cru devoir me borner à une courte indication des faits qui paraissent les plus dignes d'attention.

Les aimans naturels et artificiels, le fer, le nickel et le cobalt, étaient les seuls corps dans lesquels on eût reconnu la propriété d'agir sur l'aiguille aimantée, lorsque M. OERSTED, secrétaire de l'académie royale des sciences

(1) M. MALUS, mort en 1812.

de Copenhague, découvrit que, dans certaines circonstances, tous les métaux sans exception, et en général tous les corps susceptibles de conduire l'électricité, exercent sur cette aiguille des actions très-intenses. Il suffit pour cela que, mis en communication avec les deux extrémités d'une pile de volta, ils servent de conducteurs au courant électrique qu'elle produit.

En m'occupant, dans le mois de septembre dernier, d'expériences relatives à cette importante découverte, j'ai reconnu ce fait, plus général et non moins inattendu, que deux fils métalliques, de quelque nature qu'ils soient, agissent l'un sur l'autre, lorsqu'ils transmettent tous deux un courant électrique; et, ce qui ajoute à la singularité de ce résultat, c'est que l'action est *attractive* quand les courans sont dirigés dans le même sens, et *répulsive* quand ils se meuvent en sens contraire.

Dans le même tems, M. Arago annonçait à l'académie que le courant voltaïque qui, d'après les expériences de M. Oersted, donne à tous les métaux la propriété d'agir sur les aimans, est lui-même un puissant moyen d'aimantation. En disposant convenablement le fil conducteur autour du barreau d'acier, même à une distance considérable, on parvient par ce moyen à produire dans le barreau autant de pôles que l'on veut, et aux places que l'on a choisies d'avance. Le même physicien montra bientôt après que ces effets s'obtiennent également, lorsqu'on se sert de l'électricité ordinaire, au lieu de celle qui est produite par la pile de volta.

L'action directrice du globe terrestre sur les aimans n'est pas seulement un des faits les plus remarquables de la physique; on sait à quelle hauteur elle a élevé l'art de la navigation. J'ose me flatter que les marins n'auront pas appris sans intérêt que je suis parvenu, par la seule combinaison des conducteurs électriques, à produire un appareil, dans lequel il n'entre que des fils de laiton, et qui est sus-

ceptible, comme la boussole ordinaire, d'indiquer la direction du méridien.

J'ai obtenu, par une combinaison analogue de fils métalliques, les mouvemens correspondans à ceux de l'aiguille d'inclinaison; et il m'a été facile de reconnaître que les aimans et les conducteurs voltaïques prennent, par l'action de la terre, précisément les positions que tendraient à leur donner des courans électriques, dirigés dans le sens du mouvement apparent du soleil, perpendiculairement aux méridiens magnétiques, et d'autant plus intenses qu'ils seraient plus près de l'équateur. Il suffit pour cela d'attribuer à ces courans le même mode d'action que l'on déduit, relativement aux aimans, des expériences de M. Oersted, et, relativement aux conducteurs, de celles que j'ai faites sur leur action mutuelle.

Telle est, en effet, suivant moi, la cause de la direction constante qu'offrent les aimans et les fils conducteurs de nos appareils; mais, si la force directrice du globe terrestre est produite par de tels courans, n'est-il pas naturel d'admettre que l'action qu'exerce un aimant, soit sur un conducteur voltaïque, soit sur un autre aimant, est aussi due à des courans électriques situés dans des plans perpendiculaires à son axe, et dirigés, relativement à ses pôles, comme le mouvement apparent du soleil l'est à l'égard des pôles de la terre correspondans à ceux de l'aimant?

On parvient ainsi à représenter par une force unique, toujours dirigée suivant la ligne droite qui joint les deux points entre lesquels elle s'exerce, non seulement les phénomènes magnétiques anciennement connus, mais encore toutes les circonstances de l'action d'un conducteur voltaïque sur un aimant, découverte par M. Oersted, et de celle que j'ai reconnue entre deux conducteurs. C'est ce qui me semble appuyer fortement l'opinion que j'ai émise, à l'époque de mes premiers travaux sur ce sujet, relativement à l'identité de l'électricité et du magnétisme. Les ré-

sultats des expériences que j'ai faites depuis, m'ont paru la rendre de plus en plus probable.

Je n'entrerai point ici dans les détails de ces expériences; j'ajouterai seulement que, conformément à la manière dont je conçois que l'électricité produit tous les phénomènes magnétiques, un fil de laiton, renfermé en partie dans un tube de verre et se repliant extérieurement en hélice autour de ce tube, est attiré et repoussé par un aimant, et agit sur lui en toutes circonstances, comme le ferait un autre aimant, dès qu'on établit autour de ce tube des courans électriques, en mettant les deux extrémités du fil en communication avec celles d'une pile voltaïque.

Les effets qu'on observe à l'aide de cet instrument, offrent des preuves directes et multipliées de l'identité de l'électricité et du magnétisme. Une des principales conséquences de la théorie fondée sur cette identité, est que l'action directrice de la terre n'émane ni des régions polaires ni du centre du globe, comme on l'a supposé successivement, et qu'elle provient surtout de la zone équatoriale, où la chaleur et la lumière agissent avec le plus d'intensité. Je pense que cette détermination des régions de la terre où réside la cause de l'action directrice, intéressera les physiciens qui cherchent à représenter par des formules générales les valeurs des déclinaisons et des inclinaisons de l'aiguille aimantée, depuis les pôles jusqu'à l'équateur.

Ainsi, tandis que, d'après les expériences de M. Arago, l'électrophore et la bouteille de Leyde pourront désormais servir aux navigateurs comme un moyen infaillible de réaimanter à saturation les aiguilles de leurs boussoles, lorsque le tems ou d'autres circonstances les auront affaiblies, j'aurai peut-être contribué, par mes recherches, au perfectionnement des formules magnétiques, destinées à rendre plus sûr, et à étendre, par de nouvelles applications, l'usage d'un instrument, sans lequel la plus grande partie de la terre nous serait encore inconnue.

Lettre de Mr. Ampère a Mr. Erman, secrétaire de l'Académie Royale de Berlin.

Paris, 20 *Avril* 1821.

Mr. le Secrétaire perpétuel,

Depuis que vous avez eu l'extrême bonté de me faire remettre un exemplaire de votre ouvrage sur l'action électro-magnétique découverte par Mr. Oersted, vous avez du être surpris de mon silence ; je vous devois tant de remercîmens de l'envoi d'un travail aussi précieux, que rien ne pourroit m'excuser de ne vous en avoir pas plutôt témoigné ma reconnoissance, si, d'une part une indisposition très-grave, jointe à une multitude d'occupations indispensables, ne m'avoit empêché de vous écrire dans le temps, et si d'autre part, mon ignorance de la langue allemande, en m'obligeant à faire traduire votre ouvrage pour pouvoir en prendre connoissance, ne m'en avoit long-temps privé ; il y a bien peu de temps que j'en ai la traduction en français, et je n'ai point encore eu le temps d'en faire une étude aussi approfondie que je l'aurois désiré. J'ai eu l'honneur, Monsieur de vous offrir, par l'entremise de votre illustre compatriote, Mr. le baron de Humboldt, un exemplaire du Mémoire qui contient une partie de mes recherches sur ce sujet et des conséquences que j'en ai tirées, dès le mois de septembre de l'année dernière.

J'ignore si les faits nouveaux contenus dans ce Mémoire ont été vérifiés en Allemagne, mais ils l'ont été tant de fois en France, qu'il ne peut rester aucun doute sur leur exac-

(1) Bib. univ., tome XVII p. 183 et 1??, Journal de physique, tome XCII, p. 204-209; Recueil, p. 113 —

titude. Un habile physicien Mr. Tillaye, Conservateur du cabinet de physique de l'École de médecine de Paris, vient de les obtenir avec une pile voltaïque de dix paires seulement, dont les plaques, disposées suivant la méthode de Mr. Wollaston, n'avoient que quatre pouces de hauteur sur trois de largeur. C'est avec ce simple appareil qu'il a obtenu, comme je l'avois fait avec une pile beaucoup plus forte, les attractions et répulsions de deux fils conjonctifs, sans l'action d'aucun aimant; et la direction de l'est à l'ouest du plan d'un cercle en fil de laiton, où l'on fait passer un courant électrique, et qui prend, par l'action de la terre, cette situation, de manière, que le courant aille de l'est à l'ouest dans sa partie inférieure, et revienne de l'ouest à l'est dans sa partie supérieure; ces deux faits principaux n'ont pu être produits par l'instrument avec lequel vous les aviez tentés, uniquement parce que l'appareil voltaïque, faisant corps avec le fil conjonctif, devoit se mouvoir avec lui; au lieu que je rends mobile une portion seulement de ce fil, en la faisant porter sur une pointe d'acier plongeant dans une petite coupe pleine de mercure en communication avec une des extrémités de la pile, ensorte que cette pointe tourne librement sur le fonds de la coupe, tandis qu'à l'extrémité opposée de la portion mobile du fil conjonctif, une pointe pareille plonge dans une seconde coupe pleine de mercure, communiquant à l'autre extrémité de la pile, mais sans toucher le fond de cette seconde coupe, pour qu'elle ne gène en rien le mouvement de rotation autour de la première pointe; ce mode de suspension est représenté dans les planches qui accompagnent mon Mémoire pl. III. fig. 6 et 7. C'est avec ces appareils que je crois qu'il convient dans un travail régulier sur les phénomènes dont nous nous occupons, de commencer par étudier; 1.° l'action d'une portion fixe du conducteur voltaïque sur cette portion mobile, tant pour

l'attirer ou la repousser, que pour l'amener dans une direction parallèle à celle de la portion fixe du conducteur, quand la portion mobile ne peut que tourner autour de l'axe vertical passant par son point de suspension et que la portion fixe est horizontale ; 2.° l'action du globe terrestre sur cette même portion mobile, qu'on reconnoît aussitôt être précisément la même que celle qu'exerceroient, d'après les lois de l'action entre la portion fixe et la portion mobile, des courans électriques qui auroient lieu dans notre globe de l'est à l'ouest, avec d'autant plus d'intensité qu'ils sont plus près de l'équateur.

L'existence des courans terrestres est confirmée par ce fait, que l'aiguille d'une boussole se dirige précisément comme la doivent diriger ces courans d'après la manière dont elle l'est par un courant voltaïque, dans les expériences de Mr. Oersted. Ce travail préparatoire achevé, et les deux actions que j'ai découvertes, l'une entre deux conducteurs voltaïques; l'autre entre un conducteur et le globe de la terre, étant bien connues, on a tout ce qu'il faut pour passer à l'explication des phénomènes que présentent les aimans dans les expériences électro-magnétiques, expériences, qui n'offriroient sans ces préliminaires qu'un dédale inextricable.

Il suffit en effet, d'après les résultats fournis par le travail préparatoire dont je viens de parler, relativement à la manière dont deux conducteurs voltaïques agissent l'un sur l'autre, de chercher, ce qui doit arriver à un assemblage de courans électriques circulaires tournant tous dans le même sens et dans des plans perpendiculaires à une droite que l'on considère comme l'axe de cet assemblage, et alors en annonçant d'avance tout ce qui doit lui arriver, soit par l'action de la terre, soit par celle d'un courant voltaïque, soit enfin par celle d'un autre assemblage de courans électriques circulaires formé comme le premier, l'on verra qu'on a dé-

terminé d'avance ce qui arrive en effet à un aimant ; 1.° par l'action du globe terrestre ; 2.° par celle d'un conducteur voltaïque dans les expériences de Mr. Oersted ; 3.° par celle d'un autre courant, lorsque l'on observe les phénomènes connus de l'action mutuelle de deux aimans.

Voilà ce qui me semble établir aussi solidement que le peut une théorie physique, que les aimans ne sont réellement que de tels assemblages de courans électriques, ainsi que je l'ai annoncé à l'Académie des sciences de Paris le 25 septembre 1820, dans les conclusions du Mémoire dont j'achevai la lecture dans la séance de ce jour, et que j'avois commencé dans la séance précédente. Cette conclusion est d'ailleurs indépendante de l'idée qu'on peut se faire de la manière dont l'électricité est disposée et agit dans le fil conjonctif, c'est aussi celle dont elle est disposée et agit dans les plans perpendiculaires à l'axe d'un aimant suivant des courbes tracées, soit autour de cet axe, soit autour de chacune des particules de l'aimant; puisqu'en ne l'admettant d'abord que comme une hypothèse, elle sert à prévoir et à annoncer d'avance tous les phénomènes magnétiques anciennement connus, ceux que Mr. Oersted a découverts, et les propriétés nouvelles dont j'ai reconnu l'existence dans les conducteurs voltaïques. Cette disposition de l'électricité a lieu aussi dans la pile elle-même, d'après une des premières expériences que j'ai faites sur ce sujet, expérience qui a été publiée dans le temps. Quand on trouve un pareil accord entre les faits et l'hypothèse d'où l'on est parti, peut-on ne la reconnoître que comme une simple hypothèse? n'est-ce pas au contraire une vérité fondée sur des preuves incontestables? mais pour rendre ces preuves plus complètes et les mettre en quelque sorte sous nos sens, j'ai construit l'instrument représenté dans les planches de mon Mémoire, Pl. II, fig. 3: un fil de cuivre dont

les deux extrémités communiquent avec celle de la pile, est roulé en hélice autour d'un tube de verre, et revient par l'intérieur du tube, de manière que l'action de la partie rectiligne de ce fil renfermée dans le tube detruit la portion de l'action de l'hélice qui est représentée par la somme des projections de ses spires sur l'axe de cette hélice, et qu'il ne reste que l'action représentée par la somme des projections sur des plans perpendiculaires à l'axe, ce qui donne autant de courans circulaires semblables, à ceux dont je regarde les aimans comme composés, que l'hélice a de spires.

Cet instrument suspendu comme une aiguille aimantée se conduit en toute circonstance comme elle, et met ainsi dans tout son jour l'identité du magnétisme de l'électricité.

Il faut seulement observer qu'on n'obtient le phénomène de la direction par l'action du globe terrestre, que quand on donne à l'hélice un assez grand diamètre, et que la pile est très-forte; cette expérience est plus facile à faire avec un seul conducteur circulaire tel que celui qui est représenté Pl. III fig. 7.

Il suffit d'observer avec attention les divers mouvemens qu'imprime un barreau aimanté à l'hélice disposée comme je viens de le dire, pour qu'il ne reste aucun doute sur l'assimilation que j'ai faite de cette hélice et d'un aimant. Je dois à l'obligeance de Mr. De La Rive, Prof. à l'Académie de Genève, un appareil propre à faire cette expérience avec une extrême facilité (1) : il consiste dans un fil de laiton disposé comme dans la fig. 3 Pl. II de mon Mémoire, à l'exception qu'il n'est point adapté à un tube de verre, mais enveloppé de soie, afin d'empêcher les spires de l'hélice de communiquer avec les parties du fil qui reviennent par l'intérieur de cette hélice, de ses extrémités

---

(1) Voy. *Bibl. Univ.* Sc. et Arts. Vol. XVI, page 201.

vers son milieu. Les deux bouts du fil de laiton, qui dans l'appareil que j'ai décrit communiquent avec les deux extrémités de la pile au moyen du mercure où ils plongent et où ils peuvent tourner librement, sont dans l'instrument de Mr. De La Rive, soudés à deux plaques, l'une de zinc et l'autre de cuivre, qui traversent un flotteur circulaire en liège qu'on place sur de l'eau acidulée où plongent les deux plaques; si l'on met sur un flotteur pareil une aiguille aimantée, et qu'on approche successivement dans toutes les situations qu'on pourra imaginer un barreau aimanté, tantôt de l'appareil à hélice, et tantôt de l'aiguille. en faisant attention à la correspondance que j'ai établie entre les pôles de l'aimant et les extrémités de l'hélice, d'après la direction du courant électrique qui la parcourt, on reconnoîtra une identité d'action si parfaite, que je ne crois pas qu'on conserve, après cette expérience, des doutes sur l'identité de l'électricité et du magnétisme expliquée comme je l'ai fait.

Voila, Monsieur, bien des motifs d'admettre cette explication si simple des phénomènes magnétiques, et toutes les expériences que j'ai faites depuis six mois s'accordent à la confirmer; quand on ne la considéreroit que comme une manière de représenter tous les faits, elle n'en seroit pas moins utile aux physiciens. Les observations décrites dans le Mémoire que vous avez eu la bonté de m'envoyer, en sont autant de nouvelles preuves; car, si je ne me trompe, on les pouvoit toutes prévoir d'après la théorie où l'on considère les aimans comme des assemblages de ce que j'appelle courans électriques, il suffit d'en tirer les conséquences qui en découlent le plus immédiatement pour voir que les deux branches d'un aimant en fer à cheval doivent attirer ou repousser ensemble un même conducteur voltaïque vertical, tel que la portion du fil qui établit dans votre ingénieux appareil la

communication entre le cuivre et le zinc, de manière que quand il y a attraction entre les pôles de l'aimant, il y ait répulsion en dehors, avec tous les autres changemens de signes dans cette action que vous décrivez. On voit de même pourquoi le pôle qui attire quand il est plus haut que le conducteur, repousse quand il est plus bas, et généralement tous les faits que vous avez observés, sont une suite nécessaire de cette théorie. Il faut seulement se rappeler que l'attraction a lieu quand les courans de l'aimant, dans la partie la plus voisine du conducteur, sont dans le même sens que celui du fil conjonctif, et la répulsion quand ils sont en sens contraire, et faire attention à la direction des courans de l'aimant relativement à ses pôles, telle que je l'ai déterminée en la comparant à celle du mouvement apparent du soleil relativement aux pôles de la terre, bien entendu que j'ai toujours nommé, comme on le fait aujourd'hui en France et en Angleterre, pôle austral de l'aiguille celui qui se dirige au nord.

Plus j'ai étudié le Mémoire plein de tant d'observations neuves et ingénieuses que vous avez eu la bonté de m'envoyer, plus j'y ai trouvé de preuves de ma théorie; les ressemblances dans certains cas, et les dissemblances complètes dans d'autres, entre l'action d'un fil conjonctif, et celle d'un barreau d'acier aimanté transversalement, en sont également des vérifications bien précieuses pour moi, les unes et les autres résultant évidemment de ce que dans le fil conjonctif le courant parcourt la longueur de ce fil, et que dans un barreau aimanté transversalement, les courans électriques forment des circuits fermés contenus dans des plans parallèles à l'axe du barreau, au lieu de l'être dans des plans perpendiculaires à cet axe comme dans les aimans ordinaires. Toutes les circonstances que présentent le fil conjonctif, l'aimant transversal et l'aimant ordinaire, résultent ainsi d'une action tou-

jours la même entre les courans électriques soit du fil conjonctif, soit de ces deux sortes d'aimans; et il me paroît que d'après les propriétés que j'ai reconnues dans les conducteurs voltaïques, la supposition de fluides ou de forces magnétiques, différentes des fluides ou des forces électriques, n'est plus qu'une conception purement gratuite; car enfin, quand un fil de laiton faisant partie d'un circuit voltaïque est attiré, repoussé ou dirigé par une autre portion de fil conducteur, il faut bien que l'état électrique de ce fil, et les forces qui résultent de la manière dont l'électricité y est disposée, ou s'y meut, produisent ces phénomènes: d'où il suit que si le même état électrique existe dans le globe terrestre et dans les aimans, suivant les directions indiquées dans mon Mémoire, les forces qui en émaneront produiront nécessairement tous les effets qu'on observe, soit dans l'action de la terre sur un conducteur voltaïque ou un aimant, soit dans l'action mutuelle d'un conducteur et d'un aimant, ou de deux aimans; quelle raison pourroit-il donc rester de supposer d'autres fluides d'autres forces, dont rien ne prouve l'existence?

Je suis, etc. A. Ampère.

Extrait d'une lettre de Sir H. Davy a Mr. Ampère.

Grosvenor Street. 20 *Fév.* 1821.

Mr.

Je vous remercie des deux exemplaires de votre ouvrage sur les phénomènes électro-magnétiques que vous avez eu la bonté de m'envoyer. Vos vues sont toujours neuves et ingénieuses, et les physiciens de tous les pays les méditeront avec l'attention qu'elles méritent.

Avant que j'eusse connoissance que vous poursuiviez les expé-

riences d'Oersted j'avois fait quelques recherches sur le même sujet, et je communiquai à la Société royale un Mémoire qui en contenoit le détail. Ce travail a été publié, mais il a perdu le mérite de la nouveauté, car la plupart de mes observations ont été faites par d'autres physiciens.

Quelques-uns des faits que j'ai observés m'ont conduit à douter de l'identité de l'électricité et du magnétisme; et mes doutes sont plutôt augmentés que détruits par quelques nouvelles expériences, telles que celles qui démontrent le pouvoir qu'ont de très-mauvais conducteurs électriques, de devenir des aimants, et l'indifférence absolue des courans électriques très-forts qui passent à travers l'air, soit les uns pour les autres, soit pour les aimants.

J'aurai un grand plaisir à recevoir de vous des éclaircissemens ultérieurs sur ce sujet important et obscur, etc......

H. D.

Extrait d'une lettre de Mr. Ampère au Prof. De La Rive.

Paris, 15 *Mai* 1821.

..................J'en viens à un autre article relatif à la lettre que j'ai reçue de l'illustre H. Davy; afin que vous puissiez mieux juger, Monsieur, de ce dont il est question, je joins ici une copie de cette dernière; vous y verrez qu'il n'y a pas des détails suffisans sur les deux points qui lui paroissent présenter quelques difficultés relativement à ma théorie, mais, autant que j'ai pu en juger, ils se réduisent à ce que 1.° « des corps très-mauvais conducteurs de l'élec» tricité peuvent acquérir les propriétés des fils métalliques

» quand on les met de même en communication avec les » deux extrémités d'une pile voltaïque. » J'ai essayé de produire cet effet dans des baguettes de verre, de bois, etc. avec ma pile de douze plaques de zinc d'un pied carré, je n'ai eu aucune sorte d'effets produits, ce qui me fait penser que Mr. Davy n'en a obtenu qu'avec une très-forte pile, composée d'un grand nombre de plaques, et où la tension étoit telle, que le courant électrique s'établissoit malgré le foible degré de conductibilité absolue, et je me suis assuré par beaucoup d'expériences que tel conducteur qui ne laisse pas passer le courant quand il n'y a qu'une plaque de zinc et une de cuivre, le conduisoit très-bien quand il y avoit un nombre suffisant de paires, pour que la tension électrique surmontât les obstacles qu'opposoit ce conducteur à la tension d'une seule paire. J'ai fait ces expériences avec des conducteurs métalliques qui se touchoient par des surfaces oxidées; une seule paire donnoit un courant très-intense quand les mêmes surfaces étoient bien décapées; il seroit bien à désirer qu'on sût quelles substances peu conductrices Mr. Davy a employées, je lui ai communiqué mon désir à ce sujet, et j'attends de nouveaux éclaircissemens.

2.° « De forts courans électriques à travers l'air n'agissent » ni les uns sur les autres, ni ne sont influencés par un » aimant, ni ne tendent à changer la direction de l'aiguille » aimantée. » Pour que ces observations cessent de faire une objection contre ma théorie, il suffit que la série de décompositions et de récompositions du fluide formé par la réunion des deux électricités dont on regarde les courans électriques comme composés, ne se fasse que par des décharges successives à travers l'air, et non d'une manière continue comme dans un fil conjonctif, parce que l'air est le plus mauvais de tous les mauvais conducteurs.

Mr. Davy dit, à la vérité, que le courant par l'air, dans

lequel il n'a observé aucune action attractive ou répulsive étoit très-intense; mais puisqu'il n'exerçoit aucune action de ce genre, on ne pouvoit juger de son intensité, que par la vive lumière qu'il produisoit; or, on sait précisément qu'à mesure qu'un corps est moins bon conducteur et laisse moins passer d'électricité, il devient plus lumineux. La lumière est produite par des décharges électriques successives; et les attractions et répulsions des courans électriques, par les courans continus, où il passe bien plus d'électricité, sans comparaison, dans un même temps.

Avec une pile beaucoup plus forte encore, telle peut être que nous n'en pouvons faire, le courant électrique continu, pourroit peut-être s'établir à travers l'air, et alors il pourroit, s'il avoit une extrême intensité, agir sur un aimant, conformément à l'ingénieuse idée proposée par Mr. Arago pour expliquer les aurores boréales. Mais aussi quel appareil électro-moteur que le globe terrestre et l'atmosphère!

Il me paroît qu'on peut en général assimiler le courant lumineux à travers l'air, produit par une pile voltaïque, à celui qu'on produit entre deux conducteurs très-rapprochés qui communiquent l'un au côté positif et l'autre au côté négatif d'une machine de verre, ou même à celui d'un conducteur continu communiquant aux deux côtés de cette machine; parce que l'électricité excitée par le frottement du verre ne l'est probablement pas d'une manière continue, mais par décharges successives, à mesure que les petites aspérités du verre rencontrent celles du coussin. On n'a pas fait une objection contre l'identité établie par Volta entre le galvanisme et l'électricité, de ce que le courant de la machine de verre n'agit pas sur l'aiguille aimantée, comme le fait le courant galvanique, pourquoi en feroit-on contre l'identité du magnétisme et de l'électricité, que j'ai établie sur des preuves de même nature, (Voyez les conclusions de mon

Mémoire des 18 et 25 septembre 1820) de ce que le courant que Mr. Davy excite à travers l'air au moyen de la pile voltaïque, et qu'on doit aussi considérer comme une suite de décharges électriques, n'agit pas non plus sur les conducteurs électriques d'une aiguille aimantée ou sur d'autres courans, etc..................

Mémoire *sur les Mouvemens électro-magnétiques et la théorie du magnétisme.*

Par M. Faraday. (1)

Traduit par M. Anatole-Riffault, avec des Notes par MM. Savary et Ampère.

Cherchant, au commencement de la semaine dernière, à m'assurer de la position qu'affecte l'aiguille aimantée par rapport au fil conducteur de l'appareil voltaïque, je fus conduit à une série d'expériences qui me paraissent faire voir sous un nouveau jour l'action électro-magnétique et le magnétisme lui-même, et rendre plus distinct et plus clair ce que l'on en connaît déjà. Il me semblait douteux que quelque chose de neuf ou digne de quelque intérêt eût pu échapper à la sagacité des observateurs qui se sont jusqu'à ce jour occupés de ce sujet; mais comme mes expériences me paraissent rapprocher considérablement les différentes opinions que l'on a émises, je suis déterminé, par cette raison, à en publier un exposé, dans l'espoir qu'elles serviront à rendre plus parfaite cette branche importante de nos connaissances.

L'appareil dont on fit usage fut celui inventé par le Dr Hare de Philadelphie, et appelé par lui *calorimotor*; il consiste essentiellement en une seule paire de larges plaques, disposées de manière que la puissance de chacune d'elles est rendue plus énergique par l'interposition de plusieurs autres : il suit de là que toutes les positions et les di-

rections des aiguilles, poles, etc. sont opposées à celles produites par un appareil de plusieurs plaques ; car, si l'on suppose qu'il existe dans le fil conducteur d'une batterie un courant électrique dirigé du zinc vers le cuivre, ce courant, dans chaque paire considérée isolément, ira du cuivre au zinc ; et telle sera par conséquent sa direction dans le fil conducteur que j'ai employé, et qui fait communiquer ensemble les deux plaques d'une paire. Dans les figures jointes à ce Mémoire, on a désigné par les lettres *Z* et *C* les extrémités du conducteur qui sont respectivement en contact avec les plaques de zinc et de cuivre ; les sections sont toutes horizontales, vues en dessus, et l'on s'est servi de petites flèches pour marquer, tantôt le pole nord de l'aiguille, ou le pole de l'aimant qui se dirige vers le nord, et tantôt la direction du courant : on n'éprouvera d'ailleurs aucune difficulté pour savoir auquel de ces deux objets elles se rapportent dans chaque cas.

Ayant placé un fil conducteur verticalement, et en ayant approché une aiguille aimantée pour déterminer dans quelles positions elle éprouvait des attractions ou des répulsions, au lieu d'en trouver seulement quatre, une attractive et une répulsive pour chaque pole, je les trouvai au nombre de huit (1), deux attractives et deux répulsives pour chaque pole : ainsi, en laissant l'aiguille prendre librement sa position naturelle en travers du fil, situation directement opposée à celle indiquée par M. OErsted par la raison que nous avons déjà fait connaître, et retirant alors lentement le support de manière que son pole nord, par exemple, se trouve plus rapproché du conducteur, il y a attraction, comme on devait

s'y attendre ; mais en continuant à faire venir l'extrémité de l'aiguille plus près encore, il y a répulsion, quoique cependant le fil soit encore du même côté de l'aiguille. Si le conducteur est placé de l'autre côté du même pole de l'aiguille, il le repoussera quand il sera opposé aux points situés entre le centre de mouvement et l'extrémité; il y a cependant près de celle-ci un petit espace où il est attiré. La figure 1, planche 7, montre les positions d'attraction pour les poles nord et sud ; la figure 2 celles de répulsion.

Si l'on fait approcher verticalement le fil vers un pole de l'aiguille, ce pole passera d'un côté du fil, dans la direction que l'attraction et la répulsion qui s'exercent à l'extrémité de l'aiguille lui assigneraient; mais si l'on approche peu à peu le fil du centre de mouvement, d'un ou de l'autre côté de l'aiguille, la tendance à se mouvoir dans la direction primitive diminue ; bientôt elle devient nulle, et l'aiguille est tout-à-fait indifférente au conducteur ; bientôt enfin le mouvement est renversé, et l'aiguille tend puissamment à se mouvoir en sens opposé.

Il est évident, d'après cela, que le centre de la portion active de l'une ou l'autre moitié de l'aiguille où le pole vrai, comme il convient de l'appeler, n'est point placé à son extrémité, mais qu'il peut être représenté par un point de l'axe de l'aiguille situé à peu de distance de cette extrémité. Il était évident, en outre, que ce point avait une tendance à faire des révolutions autour du fil, et nécessairement aussi que celui-ci devait tendre à tourner autour du pole vrai ; et comme les mêmes effets ont lieu en sens contraire à l'autre pole, chacun d'eux possède évidemment le pouvoir d'agir sur

le conducteur par lui-même, et non pas comme toute partie quelconque de l'aiguille, ou comme se trouvant lié avec le pole opposé.

Tout ceci s'entendra facilement si l'on jette les yeux sur la figure 3, qui représente une section du fil dans les différentes positions par rapport à l'aiguille; les poles actifs sont représentés par deux cercles, et les flèches indiquent la tendance du fil, dans ses positions, à tourner autour de ces poles.

Plusieurs conclusions importantes se déduisent de ces faits; telles, par exemple, qu'il n'y a point d'attraction entre le fil conducteur et l'un ou l'autre pole d'un aimant; que le fil doit tourner autour d'un pole magnétique, et réciproquement, un pole magnétique autour du fil (2); que l'attraction et la répulsion des fils conducteurs, et probablement aussi des aimans, sont des actions composées; que les poles magnétiques vrais sont les centres d'action de tout le barreau, etc., etc. J'établirai, par des preuves démonstratives, ceux de ces faits qu'il m'a été possible de confirmer par expériences.

La révolution du fil métallique et du pole l'un autour de l'autre étant le premier fait important à constater, pour démontrer la nature de la force qu'ils exercent mutuellement, j'essayai différens moyens pour parvenir à ce but. La difficulté consistait à obtenir, pour une portion du fil, une suspension assez délicate pour le mouvement, et présentant néanmoins assez de masse pour le contact : on parvint à la lever de la manière suivante : on prit un morceau de fil de laiton à l'extrémité duquel était soudé un petit bouton d'argent; on creusa dans ce bouton une petite cavité, et en amalgamant le métal,

une petite goutte de mercure restait attachée au fond de la petite capsule, quoiqu'elle fût placée dans une situation renversée, pour servir de centre supérieur de mouvement; pour centre inférieur, on se servit d'une petite coupe semblable, en cuivre, au fond de laquelle on mit un peu de mercure; elle fut ensuite placée dans une cuve remplie d'eau au-dessous ~~du premier centre~~. On plia ensuite un fil de cuivre en forme de manivelle, et après avoir amalgamé ses extrémités et pris convenablement les distances, on le fit plonger dans les godets. Pour empêcher que le poids du fil ne produisît sur le point inférieur un frottement trop considérable, on lui fit traverser un bouchon de liège disposé à cet effet, et en faisant glisser ce bouchon sur le fil jusqu'à ce qu'il plongeât dans l'eau, le frottement devint très-petit et le fil extrêmement mobile, tout en jouissant du contact parfait; faisant alors communiquer les plaques avec les deux godets, l'appareil se trouve complet. Dans cet état, ayant approché un pole magnétique du centre de mouvement du fil plié en manivelle, il fit immédiatement un effort pour se retourner jusqu'à ce qu'il vînt toucher l'aimant, et celui-ci étant rapidement porté de l'autre côté, le fil fit de nouveau une révolution, faisant évidemment connaître qu'il aurait continué de tourner si le prolongement de l'aimant de l'autre côté n'eût pas mis obstacle à son passage. Pour éviter cet inconvénient, on enleva le fil et la capsule inférieure, et l'on plaça en dessous un bassin profond rempli de mercure; au fond de ce bassin se trouvait un morceau de cire dans lequel on implanta un petit barreau aimanté de telle manière que l'un de ses poles s'élevait de trois quarts de pouce environ au-dessus de

la surface du mercure, et précisément au-dessous de la petite capsule d'argent. On prit un morceau de fil de cuivre bien dressé, assez long pour atteindre, d'un côté, à la capsule, et plonger d'environ un demi-pouce dans le mercure; les extrémités furent amalgamées, et un petit morceau de liège arrondi fixé à l'une d'elles pour le rendre plus flottant. Cette extrémité du fil étant enfoncée dans le mercure, se trouvait auprès de l'aimant, et l'autre extrémité étant sous la petite capsule, le fil restait dans une situation presque verticale; car le contact du liège à l'aimant était suffisant pour cet objet, et néanmoins l'extrémité inférieure du fil pouvait se mouvoir librement autour du pole. En faisant alors communiquer les plaques avec la capsule supérieure et le mercure du dessous, le fil commença immédiatement à se mouvoir autour du pole de l'aimant, et continua de le faire tout aussi long-temps que la communication fut établie (3).

Lorsqu'on voulut donner un plus grand diamètre au cercle décrit par le conducteur, on éloigna le bouchon de l'aimant, et l'on entoura l'aimant et le fil d'une petite ganse de platine, pour les empêcher de s'éloigner trop l'un de l'autre. La communication étant rétablie, les révolutions eurent lieu de nouveau, mais d'autant plus lentement que la distance fut plus grande.

Le sens dans lequel le mouvement du fil avait lieu dépendait de la manière dont la communication était établie, et du pole magnétique que l'on faisait agir. Lorsque la partie supérieure du fil était en contact avec le zinc et l'inférieure avec le cuivre, le mouvement autour des poles nord et sud de l'aimant se faisait comme

il est indiqué dans les figures 4 et 5; il était dirigé en sens contraire lorsque le contact était renversé.

En approchant, à partir du centre de mouvement vers le fil, le pole de l'aimant, il n'y avait ni attraction ni répulsion; mais le fil tendait à s'échapper dans un cercle ayant encore le pole pour centre, et cela indépendamment du côté dans lequel on l'eût approché, d'après la loi ci-dessus.

Lorsque le pole était placé à l'extérieur du fil, celui-ci se mouvait dans un sens directement opposé à celui qu'il avait suivi lorsqu'il était dans son intérieur; mais il ne se mouvait pas davantage, la tendance à tourner autour du pole comme centre était la même, et son mouvement avait lieu seulement jusqu'à ce que cette force et celle qui le retenait dans un cercle autour de son axe fussent en équilibre.

Il fallait maintenant faire tourner l'aimant autour du fil conducteur : on y parvint en chargeant assez avec du platine l'un des poles d'un petit aimant, pour qu'il pût flotter sur le mercure, en présentant son autre pole au-dessus de la surface; faisant alors communiquer le mercure avec l'une des plaques et plongeant perpendiculairement dans le métal l'autre fil conducteur tout auprès de l'aimant flottant, son pole supérieur commença immédiatement à tourner autour du fil, tandis que le pole inférieur, par son éloignement, ne pouvait causer aucun effet contraire.

Le sens des mouvemens fut encore déterminé par l'espèce du pole et la manière dont les communications étaient établies. Quand la partie supérieure du fil fut en contact avec le zinc et la partie inférieure avec le cuivre,

la courbe parcourue par les poles nord et sud fut décrite dans le sens représenté par les figures 6 et 7 ; et quand la communication fut intervertie, le mouvement eut lieu en sens contraire.

Ayant ainsi réussi dans mes expériences, je tâchai de faire tourner l'aimant et le fil sur leur axe, en les empêchant de se mouvoir en tournant l'un autour de l'autre ; mais je ne pus obtenir le plus léger indice de la possibilité de la chose ; et en y réfléchissant en effet, il ne semble pas probable que ce cas puisse avoir lieu. Les mouvemens appartiennent évidemment à un courant ou à quoi que ce soit, qui passe à travers le fil, et non pas au fil lui-même, qui ne doit être regardé que comme le conducteur du courant. Lorsque, par la forme donnée au fil, ce courant décrit une courbe, il est aisé de concevoir comment, dans ses révolutions, il entraîne le conducteur avec lui ; mais lorsque celui-ci est droit, le courant doit se mouvoir sans communiquer aucun mouvement au fil qu'il traverse.

M. Ampère a fait voir que deux fils conducteurs semblables à ceux dont il s'agit s'attirent lorsque leurs courans sont dirigés dans le même sens, et qu'ils se repoussent lorsque les courans vont en sens contraire, l'attraction et la répulsion ayant lieu entre eux en lignes droites. L'attraction du pole nord de l'aiguille aimantée par l'un des côtés du fil et du pole sud par le côté opposé, et la répulsion de ces mêmes poles par les côtés différens du fil, ont porté M. Wollaston à nommer ce magnétisme *magnétisme vertigineux* ; et il conçoit que les phénomènes peuvent être expliqués en supposant qu'un courant électro-magnétique, dont la direction dé-

pend de celle du courant électrique, tourne autour de la circonférence des fils conducteurs, et qu'il développe des forces nord et sud de côtés opposés, suivant cette circonférence. Il est, en effet, bien constaté que le fil qui établit la communication jouit de pouvoirs dirigés en sens contraire sur ses faces opposées, ou plutôt que chacune des forces a lieu tout autour du fil, dans la même direction; d'où il suit évidemment que les attractions et répulsions des fils de M. Ampère ne sont pas des actions simples, mais compliquées (4).

Un des cas les plus simples du mouvement magnétique est celui du cercle décrit par le conducteur ou le pole l'un autour de l'autre. Si l'on tourne un fil en hélice, ainsi que le décrit M. Ampère, l'arrangement y est tel que tout le magnétisme vertigineux d'une même espèce ou d'un côté du fil est concentré dans l'axe de l'hélice, tandis que le magnétisme de l'autre espèce est beaucoup plus disséminé; en sorte que tous les efforts qu'exerce un fil d'une grande longueur du côté de l'axe de l'hélice, pour que le pole se meuve autour de lui, tendent tous à porter ce pole vers un endroit déterminé, tandis que la puissance motrice du côté opposé à cet axe est dispersée et beaucoup affaiblie dans son action sur chaque pole. Par conséquent, l'action produite d'un côté du fil est très-concentrée, et ses effets particuliers sont très-prononcés, tandis que celle qui a lieu de l'autre côté devient insensible. On obtient par là un moyen de séparer l'une des forces de l'autre; mais quand on l'a fait et qu'on examine l'extrémité de l'hélice, on trouve qu'elle ressemble beaucoup à un pole magnétique; toute la puissance est concentrée à l'extrémité de l'hélice, elle attire ou re-

pousse un pole dans toutes les directions ; et j'ai trouvé de plus qu'elle fait mouvoir le fil conducteur, tout comme le fait un pole magnétique. Ainsi, jusqu'à présent ce point doit être considéré comme identique avec un pole magnétique, et j'espère que les expériences rapportées plus bas viendront encore appuyer fortement cette opinion.

En admettant alors que le pole d'une aiguille magnétique se présente à nous avec les propriétés d'un des côtés du fil conducteur, les phénomènes qu'il présente avec le fil lui-même offrent un moyen d'analyse qui nous fera parvenir probablement, si on en fait usage, à une connaissance plus intime de l'état des forces qui agissent dans les aimans. Lorsqu'il est placé près du fil, celui-ci étant toujours supposé en communication avec la batterie, il fait autour de lui des révolutions, en passant vers le côté qui l'attire et s'éloignant de celui qui le repousse, c'est-à-dire que le pole est en même temps attiré et repoussé par deux forces égales, et que par conséquent il ne s'approche ni ne s'éloigne ; tandis qu'en vertu des forces développées des deux côtés opposés du fil, le pole, par un double effort pour s'éloigner de l'une et se rapprocher de l'autre, décrit un cercle, le sens du mouvement étant évidemment déterminé par la nature du pole et l'état du fil, ce qui peut se déduire de la loi ci-dessus mentionnée.

Les phénomènes que l'on observe en approchant un pole magnétique de deux ou de plusieurs fils, ou bien deux poles d'un seul fil ou de plusieurs, présentent des applications de cette double action, et conduiront à des vues plus correctes sur le magnétisme. Ces expériences se

font aisément en chargeant avec du platine l'un des poles d'une aiguille aimantée, de manière que l'autre puisse flotter au-dessus de la surface du mercure, ou en le faisant nager au moyen d'un petit morceau de liège sur un bassin rempli d'eau au fond duquel on place un peu de mercure qui communique avec les fils. En décrivant ces expériences, je m'abstiendrai de parler de toutes les manières dont elles peuvent être variées, et je ne m'arrêterai point aux conclusions qui ne sont point d'une importance décisive.

M. Ampère a fait voir que deux fils semblables s'attirent mutuellement, et sir H. Davy a prouvé que les petites parcelles de limaille de fer qui y adhèrent s'attirent les unes les autres d'un même côté. Ces fils se trouvent dans cette position pour laquelle l'influence nord et sud des deux fils les attire l'un vers l'autre. Ils semblent aussi se neutraliser réciproquement dans les parties qui se regardent; car entre elles le pole d'un aimant est tout-à-fait sans action. Mais si on vient à réunir les fils, il se meut autour de leur partie extérieure, en tournant autour d'eux comme autour d'un simple fil conducteur, et comme leurs influences s'exercent dans le même sens, on trouve que le *maximum* de l'effet a lieu du côté de la surface de chaque fil qui est le plus éloigné de l'autre fil. Si l'on met ensemble plusieurs fils semblables, l'un à côté de l'autre comme un ruban, le résultat est le même et l'aiguille tourne autour d'eux tous; les fils intérieurs paraissent perdre une partie de leur force, qui est portée sur les fils extrêmes dans des directions opposées, de sorte que le mouvement du pole flottant devient plus accéléré lorsqu'il passe vers les bords de

la surface formée par les fils. Si, au lieu d'un ruban de fils parallèles, on emploie une lame de métal, le même effet se produit encore, et les tranchans de la lame agissent comme s'ils retenaient concentrée en eux la force qui appartient à la partie intermédiaire de la lame. Ceci nous fournit donc le moyen d'éloigner, dans cette direction, les deux côtés du fil l'un de l'autre.

Si l'on dispose parallèlement deux fils dans des états opposés, et qu'on en approche le pole, il tendra à se mouvoir autour de chacun d'eux en vertu de la loi que nous avons établie; mais comme les fils ont des courans opposés, il se meut autour de chacun dans un sens différent, de manière que, lorsqu'il est également distant de l'un et de l'autre, le pole est poussé suivant une ligne droite perpendiculaire à celle qui les joint, soit qu'on l'approche ou qu'on le retire : ainsi il présente cela de curieux, qu'il est d'abord attiré par les deux fils, et ensuite repoussé par eux simultanément (fig. 8). Si l'on intervertit la communication avec les deux fils, ou si l'on change le pole, le mouvement aura lieu suivant la même ligne, mais en sens contraire. Si les deux courans opposés traversent un fil de métal revêtu de soie courbé parallèlement à lui-même (fig. 9), ce fil deviendra, par sa communication avec l'appareil, un aimant d'une espèce singulière : avec le pole nord d'un barreau aimanté, par exemple, présenté d'un des côtés du fil, il y aura vis-à-vis de l'intervalle qui sépare les deux courans une forte attraction; mais, au contraire, il y aura une forte répulsion en présentant le même pole à droite ou à gauche de cet intervalle; tandis que, de l'autre côté, le pole nord sera repoussé dans l'intervalle des deux courans, et at-

tiré énergiquement à droite et à gauche. Avec le pole sud, les attractions et les répulsions sont inverses.

Lorsqu'on vint à faire agir les deux poles de l'aiguille aimantée sur le fil ou les fils, les effets produits furent d'accord avec ceux décrits précédemment. Lorsqu'on fit approcher un fil conjonctif vertical d'une aiguille aimantée flottant sur l'eau, elle tourna à l'entour plus ou moins jusqu'à ce qu'elle se fût placée dans une position perpendiculaire et en travers du fil, les poles étant dans des situations telles que l'un d'eux seulement pouvait tourner autour du fil dans un cercle déterminé par le côté vers lequel il s'était avancé, suivant la loi ci-dessus établie : l'aiguille s'approche alors du fil, son centre s'y portant en ligne droite. Si on soulève alors le conducteur et qu'on le présente vers l'autre côté de l'aiguille, elle suit la même ligne en s'éloignant du fil, qui semble, dans ce cas, attirer et repousser à la fois l'aiguille. La figure 10 fera concevoir plus aisément cet effet; les poles et la direction du fil ne sont pas marqués parce qu'ils sont les mêmes que précédemment. Si l'on renverse l'un ou l'autre, les effets sont aussi intervertis. L'expérience est analogue à celle décrite plus haut : dans celle-ci, le pole passait entre deux fils dissemblables; dans celle-là, c'est, au contraire, le fil qui passe entre deux poles différens (5).

Si l'on fait usage de deux fils dissemblables, et que les deux poles de l'aimant agissent à la fois, il est repoussé, détourné ou attiré de différentes manières, jusqu'à ce qu'il se fixe en travers des deux fils; et tous ses mouvemens peuvent être facilement ramenés à ceux imprimés aux poles par les fils, puisque les poles et les fils

agissent à la fois pour donner cette position. Ainsi, s'il arrive que l'aimant ne se trouve pas au milieu de la distance qui sépare les fils, ou que ceux-ci n'aient pas des forces égales, il se dirigera lentement vers l'un des deux, et il agira tout comme en présence du fil unique du paragraphe précédent.

Les figures 11 et 12 indiquent plus distinctement la direction des forces qui agissent sur les poles dans le passage entre deux fils dissemblables; la figure 11, lorsque le pole s'avance entre les deux fils; la figure 12, lorsqu'il est repoussé. Les pôles et l'état du fil ne sont point indiqués, parce que les figures se rapportent aux attractions et répulsions des deux poles : pour chaque pole considéré en particulier, la communication des fils doit avoir lieu suivant la manière qui lui convient.

Si l'on amène à dessein l'un des poles près de l'un des fils conjonctifs dans la position où il semble l'attirer le plus énergiquement, et qu'on favorise le libre mouvement de l'aiguille en la frappant légèrement, elle glisse jusqu'au milieu du fil, où elle s'arrête transversalement (6).

Un petit appareil fort ingénieux, consistant en un petit élément voltaïque flottant à l'aide d'un morceau de liége, a été imaginé par M. de la Rive, auquel je suis redevable d'un instrument de ce genre; les extrémités des petites lames de zinc et de cuivre traversent le bouchon, et sont réunies au-dessus par un petit morceau de fil métallique fin revêtu de soie, qu'on a enroulé quatre ou cinq fois sur un cylindre, et dont les contours sont réunis les uns aux autres, de manière à former une hélice fermée d'environ un pouce de diamètre. Cet appareil, placé dans

l'eau acidulée, obéit très-facilement à l'action magnétique, et s'emploie avec un merveilleux avantage pour répéter sur les hélices les expériences que nous avons rapportées sur les fils droits. Ainsi, si l'on en approche un aimant de niveau avec son axe, l'appareil s'éloignera ou tournera jusqu'à ce que le côté de la courbe contigu au pole le plus rapproché soit le côté qu'il attire. Il s'avancera alors vers le pole, le dépassera, s'en éloignera jusqu'à ce qu'il ait atteint le milieu de l'aimant, ou il restera autour de lui comme un *équateur*, ses positions et ses mouvemens étant encore analogues à ce qui a déjà été exposé, figure 13. Si on l'amène vers l'un ou l'autre pole, il retournera bientôt au centre; et si on le place à dessein au centre du barreau dans une direction opposée, il s'échappera par celui des deux poles dont il paraîtra le plus près, en apparence attiré d'abord par le pole, ensuite repoussé, comme c'est maintenant le cas : quelque circonstance vient-elle à changer la perpendicularité de l'aimant, il fait une demi-révolution, et se replace sur l'aimant dans la position déjà décrite. Si, au lieu de passer l'aimant dans la courbe, on le tient au-dessus d'elle, l'instrument s'arrête dans un plan perpendiculaire à l'aimant, mais dans une direction opposée à la première; de sorte que l'aimant placé, soit dans l'intérieur, soit à l'extérieur de la courbe, la fait également mouvoir.

Lorsque les poles de l'aimant sont approchés de cette courbe flottante, on observe quelques positions et quelques mouvemens qui semblent, au premier abord, présenter des anomalies; mais avec un peu d'attention on peut les ramener aisément au mouvement circulaire du

fil autour du pole, et je ne crois pas qu'il soit nécessaire d'en faire particulièrement mention.

On peut voir, dans la figure 13, les positions attractives et répulsives de cette courbe; elle est attirée, dans les deux positions ponctuées, par les poles les plus proches; elle est repoussée si l'on intervertit les positions.

On peut conclure de la position centrale qu'affecte l'aimant dans ces expériences, qu'une courbe puissante ou une hélice pourrait tenir suspendue à son centre une aiguille; ce résultat a été obtenu en partie, en faisant flotter sur l'eau une aiguille aimantée et mettant l'hélice sur un tube de verre.

Dans tous ces mouvemens magnétiques entre les fils conducteurs et les poles, ceux qui ressemblent à des attractions ou des répulsions, c'est-à-dire, ceux qui ont lieu en ligne droite, exigeaient au moins, soit deux poles et un fil, soit deux fils et un pole; car, tels qu'ils semblent exister entre le fil et l'un ou l'autre pole de la batterie, ils sont trompeurs, et on peut les réduire à un mouvement circulaire. Tous ceux qui ont fait des expériences sur ces phénomènes (7) ont admis, je crois, que les forces semblables se repoussent, et que les forces dissemblables s'attirent mutuellement, et qu'elles résident ou dans les poles des aimans, ou dans les extrémités opposées des fils conjonctifs. En partant de ce point, le cas le plus simple de l'action magnétique sera celui exercé par les poles des hélices; car, comme elles offrent les états magnétiques des côtés opposés du fil indépendans, ou, à très-peu près, l'un de l'autre, elles nous mettent à même de faire agir deux de ses forces seulement, à l'exclusion des autres; et il paraît, d'après l'ex-

périence, que, quand les forces sont semblables, il y a répulsion, et attraction dans le cas contraire; de sorte que la combinaison de ces pouvoirs magnétiques produit deux cas de répulsion et un d'attraction (*).

L'exemple de mouvement magnétique qui vient après celui-ci dans l'ordre de la simplicité, est celui qui se rapporte à trois forces ou aux apparences produites par un pole et un fil; ce sont les mouvemens circulaires décrits dans la première partie de ce Mémoire: ils se partagent en deux, le mouvement d'un pole nord et d'un fil l'un autour de l'autre, et celui d'un pole sud et d'un fil l'un autour de l'autre: on a établi la loi à laquelle sont soumis ces mouvemens.

Viennent ensuite les actions entre deux fils, qui, ainsi que M. Ampère l'a fait voir, s'attirent quand ils sont semblablement électrisés; car alors les côtés opposés sont l'un vers l'autre, et les quatre forces se combinent pour rapprocher les courans et former une double attraction; mais quand les fils sont différemment électrisés, ils se repoussent, parce qu'alors aux deux côtés du fil les mêmes forces sont opposées et produisent une double répulsion.

Les mouvemens résultant de l'action de deux poles différens et d'un fil viennent maintenant: le fil tend à décrire des cercles opposés autour des deux poles; conséquemment il est tiré suivant une ligne transversale passant par le centre de l'aiguille dans laquelle ils sont placés. Si le fil se trouve du côté vers lequel les cercles se joignent, il est attiré; s'il est du côté opposé où ils se séparent, il est repoussé, fig. 10.

(*) Ceci n'est peut-être pas rigoureusement vrai, parce que, quoique les forces disséminées en dehors de l'hélice soient affaiblies, elles sont néanmoins encore actives.

Les mouvemens d'un pole avec deux fils sont encore les mêmes que les précédens ; lorsque les fils sont dissemblables, le pole tend à décrire deux cercles opposés autour des fils ; quand il se trouve du côté des fils où les cercles se rencontrent, il est attiré ; et il est repoussé du côté où les circonférences se séparent (fig. 8, 11 et 12).

Enfin, les mouvemens qu'on observe entre deux poles et deux fils dissemblables offrent l'exemple de plusieurs forces combinées pour produire un seul effet.

M. Ampère, en raisonnant sur la découverte de M. OErsted, fut conduit à adopter une théorie au moyen de laquelle il chercha à expliquer les propriétés des aimans, en y supposant l'existence de courans électriques concentriques, et disposés autour de l'axe de l'aimant. A l'appui de cette théorie, il courba d'abord un fil en hélice, dans lequel les courans devaient se mouvoir autour de l'axe d'un cylindre presque perpendiculairement à cet axe. Les extrémités d'une pareille hélice furent reconnues, lorsqu'on les fit communiquer avec l'appareil voltaïque, s'être constituées dans des états magnétiques opposés, et présenter l'apparence de poles. En suivant l'action mutuelle des poles et des fils, et découvrant les mouvemens circulaires, il me sembla qu'on aurait fait un grand pas vers la confirmation de cette théorie si l'on pouvait parvenir à tracer l'action de l'hélice, et à la comparer à celle de l'aimant plus rigoureusement qu'on ne l'avait fait jusqu'à présent, ainsi qu'à former des aimans électriques artificiels, et à analyser les aimans naturels. Je crois, en le faisant, avoir assez bien réussi pour pouvoir attribuer l'action d'un pole électro-magnétique, tant pour

attirer que pour repousser, au mouvement circulaire ci-dessus décrit.

Si l'on prend un fil conducteur long de trois pouces, et qu'on fasse circuler un pole magnétique autour de son milieu, ce pole décrivant un cercle d'un diamètre un peu moindre qu'un pouce, il se mouvra avec une égale force dans toutes les parties de ce cercle, fig. 14; que l'on courbe alors en cercle le conducteur, sans toucher à la partie autour de laquelle tourne le pole, comme on le voit marqué par des points dans la figure, en remplissant cette condition que le pole soit empêché de se mouvoir hors du cercle, il est bien évident que le fil agit, dans ce cas, sur le pole d'une manière très-différente dans les diverses parties du cercle décrit par ce pole. Chacune de ses parties agira en même temps sur le pole pour le porter vers le centre de l'anneau, tandis que, dès qu'il a dépassé cette position, il va en s'éloignant, et il est ou soustrait à leur action, ou soumis à une action contraire jusqu'à ce qu'il arrive à la partie opposée du cercle; là il se trouve sollicité par une très-petite partie des forces qui le faisaient mouvoir d'abord. A mesure qu'il continue de tourner dans le même sens, son mouvement s'accélère, les forces se rassemblent rapidement sur lui, jusqu'à ce qu'il atteigne de nouveau le centre de l'anneau de fil, où elles sont à leur *maximum* d'effet, après quoi elles diminuent comme auparavant. Ainsi, le pole est continuellement sollicité dans un cercle par des forces constamment variables. Si l'on conçoit un plan passant par la circonférence métallique, alors le centre de ce plan sera le point dans lequel les forces ont une plus grande action sur le pole, et où elles le font mouvoir

avec le plus d'énergie : ce point est donc le pole de cet appareil électro-magnétique. Il semble exercer des actions sur le pole mobile, le faisant approcher ou l'attirant d'un côté, et le faisant reculer ou le repoussant de l'autre côté avec des forces qui changent selon la distance; mais cette puissance n'est qu'apparente, car les forces existent réellement dans l'anneau métallique, et le point en question n'est que le lieu où elles sont le plus accumulées; et quoiqu'il paraisse posséder deux pouvoirs opposés, savoir, celui d'attirer et celui de repousser, c'est cependant purement une conséquence de sa situation dans le cercle, le mouvement du pole mobile ayant toujours lieu dans le même sens, et étant imprimé en réalité à ce pole par le fil, son moteur.

Nous avons fait voir précédemment que deux ou un plus grand nombre de fils semblablement électrisés, mis sur la même ligne l'un à côté de l'autre, agissent comme s'il n'y en avait qu'un seul, toute la force étant comme accumulée vers les fils extrêmes, par une sorte d'action mutuelle de tous les fils. On a remarqué en même temps qu'il en est de même pour une lame métallique qui joint les deux extrémités de l'appareil, son pouvoir étant en apparence le plus fort vers les tranchans de la lame. Si alors on dispose une série d'anneaux concentriques intérieurement les uns aux autres, de manière que le courant électrique les traverse tous dans le même sens; ou si, ce qui est la même chose, l'on fait avec un fil métallique une spirale (fig. 15), dans le plan qui va de son centre à sa circonférence, et qu'on en fasse communiquer les extrémités avec la batterie, alors le cercle de révolution suivant lequel le pole tend à se mouvoir demeurera encore le même que dans la figure 14.

et passera à travers le centre des anneaux ou de la spirale ; mais la force sera considérablement augmentée : en construisant une pareille spirale ; ce fait se trouve démontré d'une manière fort curieuse ; elle soulève en effet une énorme quantité de limaille de fer, qui forme presque un cône, tant est forte l'action du centre ; et son action sur l'aiguille aimantée des deux côtés de cette spirale est éminemment puissante (8).

Si, au lieu de mettre les anneaux les uns dans les autres, on les dispose l'un à côté de l'autre, de manière à former un cylindre, ou bien si l'on fait une hélice, alors la même espèce de neutralisation a lieu dans les anneaux intermédiaires, et tout l'effet est accumulé dans les extrémités, comme ci-dessus. La ligne que le pôle décrirait dans ce cas, en concevant un rayon dont une extrémité serait occupée par le pole, et dont l'autre glisserait d'abord sur la surface intérieure, puis sur la surface extérieure du cylindre, se dirigerait d'abord suivant l'axe de ce cylindre jusqu'à une de ses extrémités, l'inférieure par exemple, tournerait ensuite autour du bord de l'hélice, remonterait le long du côté du cylindre, et tournant autour du bord supérieur de l'hélice pour retrouver l'axe, reprendrait, suivant cet axe, sa première direction. Alors la force serait probablement à son *maximum* aux deux extrémités de l'axe du cylindre, et à son *minimum* à la moitié de l'espace entre ces extrémités.

Considérons maintenant l'espace intérieur du cylindre rempli par des anneaux ou spirales ayant tous leurs courans dirigés dans le même sens ; la direction et l'espèce de force seraient les mêmes, mais son énergie beaucoup plus grande ; elle se trouverait à son plus haut degré à l'extré-

mité de l'axe de la masse en vertu de sa forme circulaire, et les deux côtés du point qui, se trouvant dans le centre du simple anneau, semblait exercer sur le pole des attractions et des répulsions, seraient éloignés l'un de l'autre aux deux extrémités du cylindre, donnant ainsi naissance à deux points distincts en apparence dans leur action, l'un attirant et l'autre repoussant les poles d'un aimant. Concevons maintenant que le pole ne soit point borné à un mouvement autour des côtés de l'anneau, ou de la spirale plane ou du cylindre, il est évident que si on le place dans l'axe de l'un d'eux, à une distance qui convienne à l'action, il sera sollicité par deux ou un plus grand nombre de forces dans des cercles égaux; il se dirigera donc en ligne droite vers le point d'intersection de ces cercles, et il s'approchera directement ou il s'éloignera des points déjà cités, en présentant l'apparence d'attractions et de répulsions en ligne droite. Si on le place hors de l'axe, il se dirigera vers le même point, ou s'en éloignera en ligne courbe, sa direction et sa vitesse étant déterminées par les lignes courbes qui représentent, en direction et en intensité, les forces émanées des portions de fil qui forment les extrémités du cylindre, de la spirale ou de l'anneau

Ainsi, les phénomènes d'une hélice ou d'un cylindre solide formé par un fil revêtu de soie roulé en spirale sont ramenés à la simple révolution du pole magnétique autour du fil conjonctif de la batterie voltaïque, et leur ressemblance avec le magnétisme est si grande, que les plus fortes présomptions viennent à l'esprit d'imaginer qu'ils sont dus les uns et les autres à la même force, ainsi que

M. Ampère l'a établi. La limaille de fer répandue sur un papier tenu au-dessus de ce cylindre se dispose en lignes courbes passant d'une extrémité à l'autre, et indiquant la route que suivrait le pole. Le même effet se produit au-dessus d'un aimant ordinaire; les extrémités attirent et repoussent tout comme le font celles d'un aimant; et enfin, elles offrent encore beaucoup d'autres points de ressemblance. Les expériences suivantes éclairciront et confirmeront la vérité de ces remarques sur l'action de l'anneau, de l'hélice ou du cylindre, et elles feront voir en quoi ces actions sont d'accord avec les actions magnétiques, et en quoi elles en diffèrent.

Ayant fait flotter presque à fleur d'eau, à l'aide d'un morceau de liège, un petit aimant, on fit approcher de ses poles, dans différentes positions, un fil de cuivre courbé en anneau, fig. 16, et dont les extrémités étaient en communication avec la batterie : tantôt le pole était attiré vers l'anneau, tantôt il en était repoussé, suivant la position du pole et la manière dont les communications étaient établies. Si l'on présentait le fil vis-à-vis du pole, l'aimant passait de côté et en dehors quand il était repoussé, et de côté et en dedans quand il était attiré; et lorsqu'on le plaçait dans l'intérieur de l'anneau, il se mouvait du côté opposé, en cherchant à tourner autour du fil. Les actions que M. de la Rive a déjà fait connaître sont de cette espèce, et ce sont celles qui montrent le mieux les relations qui existent entre l'anneau et le pole; j'en ai déjà mentionné plusieurs, et si l'on se reporte à ce que j'en ai dit, on trouvera qu'elles s'accordent avec l'explication donnée.

Avec une spirale plane, le pouvoir magnétique acquiert

une grande énergie, et quand les spires ne s'étendent pas jusqu'au centre, on reconnaît aisément le pouvoir des fils extrêmes de l'intérieur et de l'extérieur de cette spirale, soit à l'aide du pole d'une aiguille aimantée, soit par la limaille de fer. Celle-ci présenta, dans ce cas, un aspect extrêmement curieux et instructif: lorsqu'on posait à plat la spirale au-dessus d'un tas de limaille, les parcelles s'arrangeaient en lignes qui traversaient les intervalles des spires parallèlement à son axe, et se pliaient ensuite de l'un et de l'autre côté en suivant la position des rayons autour du bord vers lequel ils concouraient, de manière qu'elles représentaient exactement les lignes qu'un pole aurait décrites autour de ces spires. Les parcelles de limaille qui se trouvaient dans l'axe même des anneaux se tinrent suspendues en filamens perpendiculaires, d'un demi-pouce de longueur, de manière à former un axe effectif à ces anneaux, et sans avoir aucune tendance plutôt d'un côté que d'un autre, leur forme et leur arrangement étant entièrement conformes à ce qui a déjà été décrit; tandis que la portion intermédiaire formait de longs fils, s'écartant plus ou moins de côté et d'autre du centre, suivant que la distance était augmentée ou diminuée.

Les phénomènes que présente une hélice étaient intéressans à vérifier, parce que, suivant l'idée que l'on a donnée des attractions et des répulsions, c'est-à-dire, des mouvemens qui ont lieu vers les extrémités, on en pouvait tirer quelques conclusions, que je reconnus vraies par le fait, et qui fournissaient encore de nouvelles preuves de l'identité des fluides magnétique et électrique. Ainsi, l'extrémité qui paraît attirer par l'extérieur un certain pole, doit le repousser quand il est dans l'inté-

rieur; et celui qui paraît le repousser de son extérieur doit sembler l'attirer de l'intérieur, c'est-à-dire que, comme les mouvemens de l'intérieur et de l'extérieur sont en sens contraire pour un même pole, il doit, dans un cas, se rapprocher, et dans l'autre, s'éloigner de la même extrémité de l'hélice. On a déjà décrit, dans l'explication des figures 8, 11, 12 et 13, plusieurs phénomènes de ce genre : voici maintenant les autres :

On roula en hélice, autour d'un tube de verre d'environ un pouce de diamètre, un morceau de fil de cuivre revêtu de soie; l'hélice avait à-peu-près trois pouces de longueur. On plaça ensuite sur l'eau une petite aiguille magnétique de même longueur environ, qu'on rendit flottante à l'aide d'un morceau de liège, de manière qu'elle pouvait se mouvoir sur l'eau par la plus légère impulsion. Ayant fait communiquer l'hélice avec l'appareil et l'ayant plongée dans l'eau, ses extrémités parurent attirer et repousser les poles de l'aiguille d'après les lois ci-dessus mentionnées. Si l'on faisait venir près de l'un des poles de l'aiguille l'extrémité qui l'attirait, il entrait dans le tube de verre, et il ne s'arrêtait pas à l'intérieur dans le voisinage de ce pole de l'hélice (comme nous désignerons pour le moment cette extrémité); mais il s'avançait dans le tube, entraînant avec lui toute l'aiguille, et s'allait placer au pole opposé de l'hélice, ou à celui qui à l'extérieur l'aurait repoussé. Le même effet eut lieu lorsqu'on fit agir l'autre pole de l'aimant avec l'extrémité correspondante ou l'autre pole de l'hélice; le pole de l'aiguille pénétrait dans le tube, et se plaçait à l'autre extrémité, en remettant ainsi toute l'aiguille dans la position qu'elle avait auparavant.

Ainsi, chaque extrémité de l'hélice paraissait attirer et repousser les deux poles de l'aimant ; mais ceci n'est qu'une conséquence naturelle du mouvement circulaire dont l'existence a été déjà démontrée par expérience, et chaque pole en particulier aurait parcouru tout l'intérieur de l'hélice, et aurait tourné ensuite autour de sa partie extérieure s'il n'eût été contrarié dans ses mouvemens par ceux que l'hélice tendait à imprimer au pole opposé. On a établi que les deux poles circulent autour des fils dans des directions contraires, et que par conséquent ils circuleraient aussi dans des directions contraires à travers et autour des fils d'une hélice ; quand donc l'une des extrémités de l'hélice était auprès du pole qui devait, d'après la loi rapportée, la pénétrer et tendre à passer outre, il entrait dans le tube, et il devait continuer sa course jusqu'à ce que l'autre pole, qui d'abord se trouvait à distance, fût venu éprouver à son tour l'action de l'hélice ; et quand les deux poles se trouvaient également dans son intérieur, et par conséquent agissaient également sur elle, leurs tendances à se porter dans des sens opposés se détruisaient réciproquement, et l'aiguille demeurait en repos. S'il eût été possible de séparer les deux poles l'un de l'autre, ils se seraient précipités au dehors de chaque extrémité de l'hélice, étant en apparence repoussés par les parties qui semblaient les attirer d'abord, comme cela est évident d'après la première expérience et plusieurs autres.

En renversant l'aiguille et la plaçant à dessein au dedans de l'hélice dans cette position, les poles de l'aiguille et ceux correspondans de l'hélice qui s'attirent à l'extérieur, sont portés l'un vers l'autre à l'intérieur ; mais les poles voisins

de l'aimant et de l'hélice semblent alors se repousser ; et quelle que soit l'extrémité de l'hélice dont l'aiguille se trouve le plus près, celle-ci est portée en dehors vers cette extrémité. On peut voir que ce mouvement présente, dans son état passager pendant que l'aiguille sort de l'hélice, une attraction entre des poles semblables, puisque le pole intérieur et en activité est alors entraîné vers l'extrémité par laquelle il est repoussé à l'extérieur (*).

Ces expériences peuvent être faites également avec le simple fil courbé de M. de la Rive ; dans ce cas, c'est le fil qui se meut et non l'aimant ; mais comme les mouvemens sont réciproques, on peut aisément les prévoir d'avance.

Une lame de cuivre roulée en cylindre et enfoncée par ses deux bords dans le mercure agit exactement de la même manière quand on la fit communiquer avec le courant électrique.

On fit avec du fil de cuivre couvert de soie un cylindre plein, semblable en tout à une hélice (9), excepté qu'une certaine longueur du fil servait d'axe, et que le reste de ce fil formait plusieurs rangs d'anneaux autour d'elle. Ce cylindre, ainsi que l'hélice précédente, présentait des poles semblables, sous tous les rapports, aux poles nord et sud de l'aimant ; ces poles soulevaient la limaille de fer, dirigeaient le fil conducteur, qui était attiré et repoussé dans quatre positions parallèles, comme on l'a décrit, pour les aimans ordinaires, dans les premières pages de ce Mémoire, et la limaille répandue sur la

(*) Le pouvoir magnétisant de l'hélice est si grand, que si l'on fait lentement l'expérience, le magnétisme de l'aiguille se trouvera changé, et le résultat pourra induire en erreur.

surface d'un papier se disposait, par leur action, en courbes allant d'un pole à l'autre, comme cela a lieu avec les aimans, ces courbes indiquant suivant quelle direction un pole nord ou sud se mouvrait vers eux.

Maintenant, en ce qui concerne l'accord que l'on trouve exister entre les apparences que présente une hélice ou un cylindre placés dans le circuit voltaïque et un aimant cylindrique ordinaire, ou même un barreau magnétique régulier, il est assez parfait pour ne laisser d'abord qu'un faible doute que la cause, quelle qu'elle soit, qui détermine les propriétés de l'un doit aussi déterminer celles de l'autre; je crois même que, dans toutes les expériences magnétiques, l'un peut être substitué à l'autre; et, dans le barreau aimanté, tous les effets d'un simple pole ou des fils, etc. s'accordent avec l'hypothèse de la circulation d'un fluide qui, si l'aimant n'était pas solide, passerait à travers son centre, et retournerait à l'extérieur.

Il existe néanmoins, entre les apparences produites par un aimant et celles dues à une hélice ou à un cylindre, les différences suivantes : un pole d'un aimant attire le pole opposé d'une aiguille aimantée dans toutes les directions et positions quelconques ; mais quand l'hélice est placée à côté de l'aiguille presque parallèlement à elle, et que les poles sont opposés les uns aux autres, de sorte qu'il y ait attraction, si l'on fait mouvoir l'hélice de manière que le pole de l'aiguille s'approche par degrés plus près du milieu de l'hélice, il s'opère en général une répulsion avant qu'il ait atteint ce point, et dans une situation où avec l'aimant ordinaire il y aurait attraction. Cela est probablement dû au défaut de continuité dans les côtés des courbes ou des

élémens de l'hélice, d'où il résulte que l'unité de l'action qui s'opère dans les anneaux dans lesquels on peut considérer l'aimant divisé se trouve intervertie et confondue.

Une autre différence consiste en ce que les poles, c'est-à-dire, ces points vers lesquels l'aiguille se dirige lorsqu'elle est perpendiculaire à l'extrémité ou aux côtés d'un aimant ou d'une hélice, et où l'on peut regarder la force motrice comme étant le plus concentrée, sont situés dans l'hélice à l'extrémité de son axe, et non pas à quelque distance de cette extrémité; tandis que dans les aimans les plus réguliers le pole est presque toujours situé dans un point de l'axe peu éloigné de l'extrémité (10). Lorsqu'une aiguille est présentée perpendiculairement à l'extrémité d'un aimant, elle se place en ligne droite avec son axe; mais quand on la présente, au contraire, perpendiculairement à une face, elle se dirige vers un point situé à quelque distance de l'extrémité; tandis que, dans l'hélice ou le cylindre, elle se dirige encore vers l'extrémité. Cette divergence doit probablement être attribuée à la distribution différente, dans l'aimant et l'hélice, de la force qui développe le magnétisme. Dans celle-ci, elle est nécessairement par-tout uniforme, en tant que le courant électrique l'est lui-même. Dans l'aimant, elle est probablement plus active au milieu qu'en aucun autre point; car, comme le pole nord d'un aimant acquiert plus d'activité lorsqu'on l'approche du pole sud, et même d'autant plus qu'il en est plus rapproché, il est naturel d'en conclure que les parties semblables qui sont actuellement unies dans l'intérieur du barreau jouissent d'un semblable pouvoir : c'est ainsi qu'un morceau de fer doux mis à l'une

des extrémités d'un aimant en fer à cheval en fait mouvoir immédiatement le pole vers cette extrémité ; mais si on le fait alors communiquer avec l'autre, le même pole se meut en sens contraire, sa force est diminuée ; il s'éloigne d'autant plus et est d'autant plus faible, que le contact est plus parfait. Il est présumable que s'il pouvait être complet, les deux poles de l'aimant se répandraient dans toute la masse, et qu'alors l'instrument n'offrirait plus ni attraction ni répulsion. Il y a donc des raisons de croire que, par quelque cause que ce soit, une plus grande accumulation de forces ayant lieu vers le milieu de l'aimant que vers ses extrémités, elle doit déterminer les poles à être placés à l'intérieur, plutôt qu'aux points extrêmes.

Une troisième différence résulte de ce que les poles semblables des aimans, quoique se repoussant à distance, s'attirent cependant l'un l'autre quand ils sont placés fort près. Cette force n'est pas grande ; mais je ne pense pas qu'elle puisse être attribuée à la supériorité de l'un des poles sur l'autre, puisque les aimans les plus égaux présentent le même effet, et que les poles, quant à leur magnétisme, restent les mêmes, et sont capables d'enlever autant, si ce n'est même plus, de limaille de fer lorsqu'ils sont réunis que lorsqu'ils sont séparés ; tandis que les poles opposés mis en contact n'en enlèvent pas une si grande. Avec les poles semblables de l'hélice, cette attraction n'a point lieu.

Toutes les tentatives que j'ai faites pour construire des aimans en hélice et en spirale plane n'ont été couronnées d'aucun succès. Ayant formé en cylindre une lame d'acier et l'ayant aimantée, on trouva que l'une de ses extrémités était nord tout autour, et l'autre sud ;

mais l'extérieur et l'intérieur avaient les mêmes propriétés, et aucun des poles d'une aiguille n'aurait pénétré dans l'axe (11), comme c'est le cas avec l'hélice; mais se serait arrêté devant le pole opposé à celui de l'aiguille; d'où il est certain que les anneaux dont on peut concevoir le cylindre formé ne sont pas dans le même état que ceux qui composent l'hélice. J'essayai vainement d'aimanter une plaque circulaire d'acier, de manière à avoir un pole au centre de l'un des côtés, et l'autre pole au centre du côté opposé, dans le dessein d'imiter la spirale (fig. 15); je ne pus obtenir qu'une distribution du magnétisme fort irrégulière.

M. Ampère est, je crois, indécis relativement à la grandeur des courans électriques qu'on suppose exister dans les aimans perpendiculairement à leur axe; il les regarde, je pense, dans une partie de son Mémoire, comme ayant tous leurs centres dans l'axe de l'aimant; mais ce cas ne peut avoir lieu à l'égard de ceux d'un aimant cylindrique, à moins qu'on ne suppose qu'il en existe deux dans des directions opposées, l'un à l'intérieur et l'autre à l'extérieur de la surface. Il avance quelque autre part, je crois, que ces courans doivent être infiniment petits autour de chaque particule d'acier; et il est peut-être possible d'expliquer le cas de l'aimant le plus irrégulier, en dirigeant par la théorie ces petits courans dans le sens requis.

Dans tout ce que je viens de dire pour éclaircir quelques mouvemens électro-magnétiques, et pour montrer la relation qui existe entre les aimans ordinaires et ceux produits par l'électricité, je n'ai prétendu adopter de préférence ni rejeter aucune théorie sur la cause du magnétisme. Il paraît très-probable que, dans un barreau ai-

manté régulier, l'acier ou le fer se trouvent dans le même état que le fil de cuivre de l'hélice-aimant; et cela est peut-être produit, ainsi que l'établit M. Ampère, par la même cause, savoir, les courans électriques. Mais on manque encore de preuves qui démontrent la présence d'une force semblable à l'électricité, et qui n'agisse que comme puissance magnétique (12). Quant à ce qui concerne les extrémités opposées du fil conducteur, et les pouvoirs qui en émanent, je n'en ai principalement parlé que pour bien distinguer une série d'effets de l'autre. Le nom du savant D[r] Wollaston est attaché à l'opinion qu'il suffit, pour expliquer tous les phénomènes, d'un simple courant électro-magnétique passant autour de l'axe du fil dans un sens déterminé par la position des poles voltaïques.

M. Ampère, qui s'est livré avec tant de zèlè et de succès à l'étude de cette branche de la physique, a tiré de sa théorie la conclusion qu'un fil circulaire faisant partie de la communication entre les poles de la batterie serait dirigé par le magnétisme terrestre, et se tiendrait dans un plan perpendiculaire au méridien magnétique et à l'aiguille d'inclinaison. On est, dit-on, aujourd'hui parvenu à ce résultat; mais son exactitude a été contestée, tant sur le point de vue théorique qu'expérimental (13). Comme l'aimant dirige le fil lorsqu'on lui donne la forme d'une courbe, et que la courbe dévie l'aiguille, j'essayai de répéter l'expérience, et j'y parvins de la manière suivante : je formai un appareil voltaïque à l'aide de deux plaques courbées en forme circulaire, et communiquant entre elles par un fil de cuivre; les plaques furent placées avec de l'acide étendu, dans une petite capsule de verre, et celle-ci mise à flot sur la sur-

face de l'eau; l'abandonnant ensuite à elle-même dans une atmosphère tranquille, l'instrument se disposa de telle manière que la courbe se trouvait dans un plan perpendiculaire au méridien magnétique : écarté de cette position d'un côté ou de l'autre, il y revenait de nouveau; et en examinant le côté de la courbe dirigé vers le nord, on reconnut que c'était précisément celui qui, d'après la loi déjà établie, serait attiré par le pole sud. Un circuit voltaïque disposé dans une capsule d'argent, et surmonté par une courbe, produisit encore le même effet; et l'on y réussit encore promptement avec le petit appareil de M. de la Rive. Lorsqu'il fut placé sur l'eau acidulée, le gaz dégagé des plaques l'empêchait de prendre une position bien stable; mais introduit dans une petite cellule flottante faite avec le col d'une bouteille de Florence, tout l'appareil prit bientôt la position désignée, et même oscillait lentement autour d'elle.

Puisque le fil conjonctif droit est dirigé par un aimant, il y a tout lieu de croire qu'il agira de même avec la terre, et prendra une situation perpendiculaire au méridien magnétique. Il agirait aussi avec le pole magnétique de la terre comme avec le pole d'un aimant, et tendrait à circuler autour de lui. Ainsi donc, théoriquement, si un fil horizontal perpendiculaire au méridien magnétique est successivement mis en communication dans un certain sens avec la batterie voltaïque et dans le sens opposé, son pouvoir sera changé; car, dans l'un des cas, il tendra à se mouvoir dans un cercle dirigé vers le bas, et dans l'autre, dans un cercle vers le haut. Ce changement aurait lieu d'une manière différente dans divers points du globe. L'effet est actuel-

lement produit par le pole d'un aimant; mais je n'ai pas réussi à l'obtenir en n'employant que le magnétisme terrestre (14).

4 septembre 1821.

Notes relatives au Mémoire de M. Faraday.

(1) Cette succession d'attractions et de répulsions, lorsqu'on promène un fil conducteur vertical le long d'une aiguille aimantée suspendue par son centre, avait été observée par M. OErsted. Elle se déduit immédiatement, dans la théorie de M. Ampère, de la composition des forces qui résultent de l'action qu'exerce chaque élément des courans dont il admet l'existence autour des particules de cette aiguille, sur chaque élément du fil conducteur.

Quand on remplace, dans cette expérience, l'aimant par un conducteur plié en hélice, il est aisé de déduire des formules données par M. Ampère, l'équation d'une courbe fermée telle que le fil vertical exerce des actions contraires sur la moitié de ce cylindre la plus voisine, suivant qu'il est situé au dedans ou au dehors de cette courbe : on trouve ainsi qu'elle passe par les deux extrémités de l'hélice. Dans l'aimant, les courans, par leur action mutuelle, doivent se condenser vers son milieu, et la même courbe se change en une courbe peu différente qui passe par deux points situés à une petite distance des extrémités de l'aimant. Ces deux points sont ceux autour desquels tourne en effet le fil conducteur dans l'expérience décrite ici par M. Faraday, conformément à la théorie de M. Ampère.

(2) L'action révolutive du fil conducteur et d'un aimant l'un autour de l'autre, que M. Faraday considère comme fait primitif dans tout ce Mémoire, ne suffirait pas pour soumettre les phénomènes au calcul ; il faudrait qu'il eût déterminé d'une manière précise l'action qui a lieu entre chaque élément du fil et chaque particule de l'aimant. Si alors, comme le fait M. Wollaston, on suppose autour de tous les points du conducteur des courans électro-magnétiques transversaux, on ne fait que déplacer l'hypothèse de M. Ampère, en attribuant au fil conducteur ce que ce savant attribue à l'aimant, et réciproquement; alors l'effet produit reste le même, et dans cette explication, comme dans celle de M. Ampère et dans toutes les autres, le mouvement circulaire et uniforme de l'aimant vertical et du fil vertical, l'un autour de l'autre, est toujours un fait composé résultant d'une multitude d'actions élémentaires.

Les attractions et les répulsions de deux fils conducteurs d'une longueur finie, découvertes par M. Ampère, ne sont pas non plus des faits simples; il nous semble qu'on ne peut donner ce nom qu'aux lois de l'action mutuelle, qu'il faut admettre entre deux points pour qu'il en résulte, entre deux assemblages d'une infinité de ces points, les phénomènes qu'ils nous présentent; dès-lors les faits simples ne peuvent être observés immédiatement, mais seulement conclus des observations à l'aide du calcul : c'est sous ce point de vue qu'on doit considérer les lois de l'action de deux petites portions de courans électriques, telles que les a données M. Am-

père; elles sont confirmées jusqu'à présent par tous les phénomènes connus, et en particulier par ceux que vient de découvrir M. Faraday.

(3) Ces mouvemens circulaires s'expliquent facilement dans la théorie de M. Ampère. En effet, soit *A* (fig. 17) la projection d'un fil conducteur vertical; *dbb'* le courant qui tourne autour d'une particule de l'aimant; si *b* et *b'* sont symétriquement placés de part et d'autre du plan vertical projeté en *cA*, un point quelconque du conducteur *A* éprouvera de *b* et *b'* des actions égales, mais en sens contraire; les composantes de ces actions dans le plan vertical projeté en *cA* se détruiront donc, et les composantes horizontales perpendiculaires à ce plan s'ajouteront; le fil *A* devra donc se mouvoir dans un cercle autour du centre *c*. Si maintenant on conçoit un aimant cylindrique et vertical, on voit aisément, par une composition de forces semblables, que la résultante des actions de chaque courant élémentaire tend à faire tourner le fil *A* autour de l'axe du cylindre. Ce premier mouvement expliqué, il est facile d'en déduire ceux d'un aimant autour d'un ou de plusieurs fils rectilignes, ou d'un fil plié en anneau, en spirale ou en hélice.

Quant au sens du mouvement, M. Ampère établit que deux courans *AB* et *DC* (fig. 18), dont les directions sont à angle droit, et qui ont lieu dans le sens marqué par les flèches, s'attirent dans les angles *BOC* et *AOD*, où ils ont, suivant les côtés de ces angles, des directions semblables; et qu'ils se repoussent dans les angles *AOC*, *BCD*, où leurs directions sont opposées, puisque l'un parcourt un côté de l'angle en s'approchant du sommet

de cet angle, et l'autre en s'en éloignant (*) : d'où il suit que si, dans l'expérience de M. Faraday, le courant dans le fil conducteur va en s'éloignant des courans de l'aimant, ce fil doit être transporté dans le sens de ces courans. S'il va en s'en rapprochant, le fil doit se mouvoir dans la direction opposée aux courans de l'aimant, c'est-à-dire, précisément comme l'a observé M. Faraday dans ces deux cas.

Dans toutes les hypothèses, si le fil se prolongeait de quantités égales au-dessus et au-dessous du milieu de l'aimant, il n'y aurait point d'action qui tendît à les faire tourner l'un autour de l'autre, toujours dans le même sens.

(4) Si M. Faraday, dans ce passage, entendait seulement que les attractions et répulsions des courans électriques sont des faits compliqués en tant qu'ils résultent d'une infinité d'actions entre toutes les parties infiniment petites de ces courans, il serait d'accord avec M. Ampère; mais il les regarde comme compliqués sous un autre point de vue, parce qu'il prend l'action révolutive pour le fait primitif, et montre très-bien que ces attractions et répulsions peuvent y être ramenées; mais nous venons de faire voir qu'en considérant, au contraire, comme fait primitif les attractions et répulsions entre les petites portions de courans électriques, d'après les lois données

(*) Tout cela est d'ailleurs une suite nécessaire de la formule donnée par M. Ampère dans le Cahier du *Journal de Physique* du mois de septembre 1820, formule consignée aussi dans ~~la *Bibliothèque universelle*, tome XVI, page 318, art. 3.~~

les Annales des mines, tome V pag. 550. Voir page

par M. Ampère, on en déduit immédiatement les mouvemens circulaires des fils conducteurs et des aimans les uns autour des autres. La seule chose qu'on puisse en conclure, c'est que les faits qui, comme ceux dont il est ici question, s'expliquent également bien des deux manières, ne peuvent servir à résoudre la question. Nous nous bornerons à remarquer que toutes les actions qui produisent les autres phénomènes découverts jusqu'à ce jour, ont lieu entre deux points suivant la ligne qui les joint, comme les attractions et répulsions admises par M. Ampère entre deux petites portions de courans électriques, et dont on peut déduire si facilement tous les faits électro-magnétiques, y compris ceux dont M. Faraday vient d'enrichir la science; en sorte qu'en adoptant la théorie de M. Ampère, ces faits rentrent dans les lois générales de la physique, et qu'on n'est pas obligé d'admettre comme fait simple et primitif une action révolutive dont la nature n'offre aucun autre exemple, et qu'il nous paraît difficile de considérer comme tel.

(5) Cette expérience où la masse entière d'un aimant est attirée par un fil conducteur dont la direction est perpendiculaire à la sienne, quand son pole austral est à gauche du courant électrique du fil, et repoussée quand il est à droite, est due à M. Ampère, qui l'a communiquée à l'Académie des Sciences le 18 septembre 1820 (*Annales de Chimie et de Physique,* tome XV, page 200). L'explication en est bien plus simple dans sa théorie, puisque cette attraction et cette répulsion sont celles de deux courans, l'un dans le fil et l'autre dans l'aimant, qui ont la même direction dans le premier cas, et des directions opposées dans le second.



(6) Cette expérience ne diffère point de celle de M. Boisgiraud (*Annales*, tome XV, pages 284-286), que M. Ampère a citée (*Annales*, t. XV, p. 218) comme une confirmation remarquable de sa théorie, dont elle dérive immédiatement. Les expériences dues à M. de la Rive, dont l'auteur parle immédiatement après, sont également des conséquences nécessaires de cette théorie; elles en sont autant de preuves et ont été considérées comme telles par le savant physicien de Genève dans une lettre qu'il écrivit à M. Ampère en lui envoyant ses appareils.

(7) Il faut en excepter M. Ampère, qui admet l'attraction entre les courans semblablement dirigés, et la répulsion entre ceux qui le sont en sens contraire. Nous n'entrerons pas ici dans le détail des raisons par lesquelles il a cru pouvoir établir que lorsqu'il s'agit des actions mutuelles de deux portions de fluide mues dans le même sens ou en sens contraire, l'attraction doit avoir lieu dans le premier cas, et la répulsion dans le second.

(8) La grande intensité d'action d'une telle spirale est une des premières expériences de M. Ampère. Il a fait voir avec quelle énergie elle était attirée par le pole d'un aimant.

(9) C'est un appareil de ce genre que M. Ampère a annoncé être encore plus identique à l'aimant que la simple hélice. (*Voyez* la *Bibliothèque universelle*, t. XVI, p. 316, art. 4.) Les expériences dans lesquelles il a imité l'aimant avec un fil conducteur plié en hélice, et dont une partie revenait suivant l'axe de cette hélice, ont été

communiquées à l'Académie royale des Sciences, dans la séance du 6 novembre 1820.

(10) Nous ne répéterons pas ce que nous avons dit de la concentration des courans vers le milieu de l'aimant, qui, dans la théorie de M. Ampère, est la cause de la différence entre la manière d'agir des hélices et des aimans, dont parle ici M. Faraday.

(11) Quand on suppose les courans dans l'aimant autour de son axe, l'analogie du cylindre creux avec l'hélice devrait être complète; mais si l'on admet, comme l'a fait M. Ampère dans un Mémoire lu à l'Institut en janvier 1821, que ces courans sont établis autour des particules des aimans, hypothèse qu'il annonçait dans ce Mémoire comme lui paraissant la plus probable (*), l'aiguille aimantée dans l'intérieur du cylindre creux se trouve toujours en dehors des courans, tandis

---

(*) *Voyez* le compte rendu de ce Mémoire dans une notice insérée dans le *Journal des Mines*, t. v, p. 537-558. Cette même hypothèse a reçu depuis un nouveau degré de probabilité par une expérience faite par M. Ampère au mois de juillet 1821, et qui sera décrite dans la note suivante; il en résulte que l'on ne peut point exciter de courant électrique par influence; ce qui a porté l'auteur à penser que les courans électriques existent, avant l'aimantation, autour des particules des corps susceptibles de magnétisme, mais qu'ils y existent dans toutes sortes de directions; ce qui fait que leurs actions sur des points situés hors de ces corps se détruisent mutuellement, ces actions ne se manifestant que quand on donne, par l'aimantation, des directions déterminées à ces courans.

que, dans l'hélice, elle leur est intérieure ; ce qui doit produire les différences d'action qu'a remarquées M. Faraday.

(12) Il faudrait, pour produire des effets chimiques ou des effets de tension, pouvoir interrompre, par des liquides dans le premier cas, et par des substances isolantes dans le second, les courans établis dans l'aimant, ou en exciter dans d'autres corps par l'influence de ces mêmes courans. Le premier moyen est impossible si, comme tout l'annonce, les courans existent autour des particules des aimans. M. Ampère a constaté l'impossibilité du second en suspendant à un fil très-fin un cercle de cuivre *A* (fig. 19), dans l'intérieur et très-près du contour d'une spirale *BCD* de même métal enveloppée de soie, dont les extrémités *B* et *D* communiquaient aux poles d'une forte pile. Si un courant électrique s'était développé dans le cercle *A*, ce cercle aurait été attirable au moyen d'un fort aimant : or, il n'y a eu ni attraction ni répulsion. Ce fait vient à l'appui de l'opinion de M. Ampère sur la préexistence de l'action électromotrice et des courans électriques autour des particules des corps susceptibles de recevoir l'aimantation, courans qui ne produisent point d'action au dehors tant qu'ils existent dans toute sorte de directions, et qui n'en manifestent qu'après que, par l'aimantation, on leur a donné des directions parallèles, comme on dirige un circuit voltaïque mobile par un aimant ou un conducteur fixe. Ce n'est pas, au reste, que M. Ampère n'admette qu'il peut y avoir des compositions et décompositions d'électricité produites dans un corps conducteur par l'influence de celles d'un conducteur voisin en communication avec les deux extrémités de la pile ; mais comme elles seraient alors pré-

cisément les mêmes que dans un espace semblable où il n'y aurait aucun corps pondérable, il n'en peut résulter des effets analogues à ceux d'un courant électrique dû à l'action électro-motrice d'un élément voltaïque ou d'une particule d'aimant. Toute attraction ou répulsion produite entre deux corps par les courans électriques qui les parcourent exige évidemment que les courans de chacun de ces corps soient produis par une cause qui réside en eux.

(13) La direction d'un conducteur mobile de fil de laiton que parcourt un courant électrique, par la seule action terrestre, n'est pas moins un résultat de l'expérience que de la théorie. Les expériences qui constataient cette découverte furent faites par M. Ampère au mois d'octobre 1820, et communiquées à l'Académie des Sciences le 30 du même mois. Ces expériences furent plusieurs fois répétées dans le courant de novembre, en présence d'un grand nombre de savans, entre autres de MM. de Humboldt, Fourier, Delambre, Arago, Dulong, Vauquelin, Matthieu, de Bournon, Legendre, Chevreul, Beudant, etc., qui peuvent tous attester la vérité de ce fait. M. Dulong, faisant aux élèves de l'Ecole Polytechnique une leçon sur ce sujet, le 21 décembre 1820, répéta lui-même devant eux celle où l'on fait tourner le conducteur mobile autour d'un axe vertical, pour imiter le mouvement en déclinaison de l'aiguille aimantée; expérience très-frappante par le peu de temps que met le conducteur à se porter dans un plan perpendiculaire au méridien magnétique, et qui aurait sans doute réussi partout où l'on a essayé de la répéter, si, au lieu de la tenter par d'autres moyens, on avait construit l'appareil très-simple imaginé par M. Ampère, et décrit dans le Cahier de

septembre 1820 des *Annales*. M. Dulong employa l'appareil dont M. Ampère se servait depuis deux mois pour répéter cette expérience. Vers la même époque, M. Thillaye la fit aussi dans ses leçons au collége de Louis-le-Grand. (*Voyez*, pour la description des appareils et des expériences, ainsi que pour celle d'un autre appareil avec lequel M. Ampère a montré aux mêmes savans, et à la même époque, l'inclinaison du circuit voltaïque par l'action du globe terrestre, les *Annales de Chimie et de Physique*, tome xv, pag. 191-195.) Nous ferons seulement remarquer que les mouvemens correspondans à ceux de l'aiguille d'inclinaison, qu'on observe dans un circuit voltaïque de forme rectangulaire, suspendu comme l'est ordinairement cette aiguille, se trouvent décrits d'une manière incomplète dans l'endroit des *Annales* que nous venons de citer (*), mais qu'ils ont été exposés avec tous les détails nécessaires dans la *Bibliothèque universelle*, tome xvi, pag. 113-114, art. 8.

(14) Le mouvement d'un fil conducteur toujours dans le même sens, par la seule action du globe terrestre, a été obtenu par M. Ampère au moyen de l'appareil représenté ici, planche 3, figures 20 et 23, et décrit dans ce volume pag. ~~331-333~~. 238; Encore est expliqué page 241.

(*) On trouve dans le tome xv des *Annales*, page 47, ligne 4 : au nord, dans le premier cas, et en bas dans le second. *lisez*, au nord, quand le conducteur mobile était d'abord horizontal, et en bas quand il était placé d'abord dans un plan vertical et perpendiculaire au méridien magnétique.

Réponse de M. Ampère *à la Lettre de M.* Van Beck, *sur une nouvelle Expérience électro-magnétique* (1).

Monsieur,

C'est avec un grand chagrin que j'ai différé jusqu'à présent de répondre à la lettre que vous m'avez fait l'honneur de m'écrire, et qui m'a été remise par M. de Blainville ; malade et surchargé d'occupations, je n'ai pu trouver le temps qui m'eût été nécessaire pour cela.

J'ai appris avec beaucoup de plaisir l'intéressante expérience dont vous me parlez dans votre lettre ; elle est bien évidemment en faveur de l'opinion sur la manière dont les courans électriques existent dans les aimans, que je proposois comme la plus probable dans le Mémoire que je lus, il y a un an, à l'Académie royale des Sciences (2). Je l'aurois seule admise dès cette époque, sans l'opposition qu'elle éprouva de la part de ceux à qui je la communiquai avant d'en parler à l'Académie ; c'est cette opposition qui me la fit présenter seulement comme une opinion qui avoit quelques probabilités de plus en sa faveur, en attendant que j'eusse fait des expériences qui pussent décider la question. J'en essayai plusieurs pour atteindre ce but ; mais j'aurois voulu en pouvoir présenter qui ne laissassent aucun doute avant de les publier, et je n'y étois pas encore parvenu lorsque l'affection de poitrine dont je fus tour-

---

(1) Cette lettre a été insérée dans le cahier d'octobre 1821 du Journal de Physique, tome 93 p. 447.

(2) Ce Mémoire fut lu dans les séances de l'Académie des 8 et 15 janvier 1821.

menté l'année dernière, m'obligea de susprendre toute recherche de ce genre. J'en fis une cependant au mois de juillet 1821, qui fixa entièrement mon opinion à cet égard, quoiqu'elle ne prouve que d'une manière indirecte que les courans électriques ont lieu, dans les aimans, autour de chaque particule. Ce que cette expérience prouve directement, c'est que la proximité d'un courant électrique n'en excite point, par influence, dans un circuit métallique de cuivre, même dans les circonstances les plus favorables à cette influence. Voici l'expérience que je fis alors pour m'en assurer ; je formai avec un long fil de cuivre A B C D E F, revêtu d'un ruban, une spirale BCDE dont les tours étoient séparés les uns des autres par la soie de ce ruban ; je disposai cette spirale, comme on le voit, dans la fig. 17, pl. 6, sur le pied en bois *hkm n*; les deux extrémités A et F de ce fil communiquoient avec celles de la pile de douze triades d'un pied carré, dont je me suis servi pour la plupart de mes expériences. La partie supérieure de cette spirale étoit traversée par un petit tube de verre M, passant entre les spires qui se trouvoient les unes en avant et les autres en arrière de ce tube; un fil métallique très-fin le traversoit sans en toucher les parois intérieures; il étoit attaché par un bout à la potence KSOP, qu'on faisoit monter ou descendre à volonté en tournant le bouton N, et qu'on arrêtoit à la hauteur convenable en serrant la vis de pression L, le cercle mobile GHI étoit supendu au bout de ce fil, de manière à être concentrique à la spirale, situé dans le même plan, et très-près des spires dont elle se composoit. Le pied *hkmn* portoit en outre deux petites règles *k p*, *n q*, sur lesquelles on pouvoit appuyer les aimans qui devoient agir sur le cercle mobile. Cette disposition m'a paru la plus convenable pour exciter dans ce cercle des courans élec-

triques par influence, si cela étoit possible; mais en le présentant à l'action d'un fort aimant, je n'ai pas aperçu qu'il prît aucun mouvement, malgré la grande mobilité de ce genre de suspension. (1)

C'est de cette expérience que j'ai conclu, dans le temps où je l'ai faite, que les courans électriques, dont j'admettois déjà l'existence autour de chaque particule des aimans, existoient également autour de ces particules avant l'aimantation, dans le fer, le nickel et le cobalt, mais que s'y trouvant dirigés en toutes sortes de sens, il n'en pouvoit résulter aucune action au-dehors, les uns tendant à attirer ce que les autres repoussent, comme il arrive à de la lumière dont les divers rayons étant poralisés en tous sens ne présentent aucun signe de polarisation. S'il en est ainsi, l'aimantation doit s'opérer toutes les fois que l'action d'un aimant, ou celle d'un fil conducteur, vient à donner à tous ces courans une direction commune en vertu de laquelle leurs actions sur un point situé à l'extérieur du corps s'ajoutent au lieu de s'entre-détruire : cette action produit alors le même effet sur ces courans qu'on lui voit produire, dans mes expériences, sur celui d'une portion mobile du conducteur, quand cette portion mobile tourne pour prendre la direction qu'elle tend à lui donner. Ne pourroit-on pas penser que ce ne sont pas seulement les corps susceptibles d'être aimantés, dont les particules exercent sur le fluide formé par la réunion des deux électricités où elles sont constamment plongées, l'action décomposante, ou, comme on la nomme ordinairement, l'action électro-motrice, qui produit autour d'elles des courans électriques; que la même action est exercée par les particules de tous les corps; que les courans

(1) Cette expérience a été essayée une première fois par Ampère au mois de Juillet 1821, et refaite par lui à Genève avec le concours de M. De la Rive en 1822. Cherchant un phénomène permanent, Ampère n'attache pas d'importance aux phénomènes instantanés ~~qu'il observa~~ qui se manifestaient dans cette expérience. Voir plus loin le Mémoire de De la Rive. J.

qui en résultent autour de ces particules en déterminent la température qui se met ensuite en équilibre, comme on l'explique communément : en sorte que la seule différence qui se trouve à cet égard entre les corps susceptibles d'aimantation et ceux qui ne le sont pas, consisteroit dans la propriété qu'auroient les particules des premiers de laisser déplacer les courans électriques qui circulent autour d'elles, tandis que dans les autres corps les courans excités autour de chaque particule ne seroient pas susceptibles de changer de direction, ou ne le pourroient que par une force supérieure à celles qui ont été exercées jusqu'à présent sur ces courans.

Si cette manière de concevoir les choses étoit fondée, on pourroit espérer de donner quelques degrés de magnétisme à des corps qui jusqu'à présent n'en ont pas paru susceptibles, en employant les moyens les plus énergiques pour y diriger les courans électriques, et on auroit une explication bien simple de quelques observations où l'on a cru reconnoître des signes d'aimantation dans la plupart des corps, et de l'expérience de M. Arago sur l'aimantation par la pile de Volta d'un morceau de fil de platine, qui conserva quelques instans après l'action du fil conducteur la propriété d'attirer de la limaille de fer.

M. Œrsted a regardé les compositions et décompositions de l'électricité, que j'ai désignées sous le nom de courans électriques, comme l'unique cause de la chaleur et de la lumière, c'est-à-dire, des vibrations du fluide répandu dans tout l'espace et qu'on ne peut guère considérer, dans l'hypothèse généralement adoptée de deux fluides électriques, que comme la réunion de ces deux fluides dans la proportion où ils se saturent mutuellement. Cette

opinion du grand physicien auquel nous devons les premières expériences sur l'action que les fils conducteurs exercent sur les aimans, s'accorde parfaitement avec l'ensemble des phénomènes, et acquiert un nouveau degré de probabilité lorsqu'on fait attention :

1°. Que si le choc ou la pression de deux corps, dont un au moins est idio-électrique, produit des électricités de tension d'espèces opposées dans ces deux corps, et par conséquent, la décomposition du fluide neutre résultant de la réunion des deux électricités, il est bien probable que la même décomposition a lieu lors du choc ou de la pression de deux corps conducteurs, mais qu'on ne peut alors la constater par l'observation de leur état électrique, parce qu'aussitôt qu'ils sont dans des états électriques différens, les deux électricités se réunissent en vertu de la conductibilité de ces corps; cette réunion seroit alors la cause de la chaleur qui se produit dans ce cas, en ébranlant l'éther environnant comme la combinaison rapide de l'oxigène et de l'hydrogène, par exemple, ébranle l'air lorsqu'un mélange de ces deux gaz flottant dans l'atmosphère vient à se convertir en eau, et produit les vibrations de l'air environnant auxquelles est dû le bruit de la détonnation.

2°. Que dans la combinaison de deux substances, dont l'une est électro-positive et l'autre électro-négative, il y a, en général, une production de chaleur qui se trouve naturellement expliquée par la réunion des deux électricités dans le rapport où elles se neutralisent mutuellement. Pour se faire une idée nette de la manière dont se doit faire cette réunion, il faut remarquer que le transport des substances électro-négatives à l'extrémité positive de la pile, et celui des substances électro-positives à l'autre extrémité, prouvent, conformément à l'opinion

émise par les hommes dont les découvertes ont le plus étendu nos connaissances en Chimie et en Physique, que les particules de ces substances sont essentiellement dans les deux états électriques opposés, et que leurs propriétés chimiques dépendent, du moins en grande partie, de l'état électrique où elles se trouvent. Comme rien ne peut changer les propriétés des substances simples, on ne peut douter que cet état électrique ne leur soit essentiel, en sorte qu'une particule d'oxigène, par exemple, ne peut jamais perdre l'électricité négative qui lui est propre, ni une particule d'hydrogène son électricité positive. Mais un volume fini d'un de ces deux gaz, ou de tout autre corps dans le même cas, ne peut manifester aucun signe d'électricité, parce que celle qui est propre à chaque particule doit, d'après les lois ordinaires des actions électriques, décomposer le fluide neutre qui remplit l'espace autour de cette particule, repousser l'électricité de même nom, attirer l'électricité d'espèce opposée, et former ainsi de cette dernière une sorte de petite atmosphère telle que son action à distance se trouvant égale et opposée à celle de l'électricité propre à la particule, il n'en résulte aucun effet qu'on puisse observer.

C'est ainsi qu'une bouteille de Leyde chargée à l'intérieur d'une espèce d'électricité, et à l'extérieur de l'électricité oposée, n'attire pas sensiblement les corps légers dont on l'approche, et n'auroit absolument aucune action sur eux si elle étoit d'un verre infiniment mince, et que les deux électricités fussent, par conséquent, exactement en équilibre. Considérons donc une particule d'oxigène négative et son atmosphère positive, comme une bouteille de Leyde dont la garniture intérieure est négative, et l'extérieure positive, tandis qu'une particule d'hydrogène peut être assimilée à une bouteille de Leyde chargée

en sens contraire. Toutes les fois qu'une cause quelconque, telle, par exemple, que l'élévation de température, mettra en communication l'électricité positive libre autour des particules d'oxigène, et l'électricité négative libre qui entoure les particules d'hydrogène, dans un mélange de ces deux gaz, ces deux électricités se réuniront pour former du fluide neutre, et il en résultera, d'après ce que nous venons de dire, la chaleur et la lumière qui se développent dans ce cas, tandis que les particules des deux gaz formeront de l'eau; en admettant, comme cela résulte d'autres considérations, que deux particules d'eau sont formées de deux particules d'hydrogène pour une d'oxigène, ces particules restant toujours dans l'état électrique qui leur est essentiel, il est évident que la particule d'eau se conduira comme n'ayant aucune électricité, si celle d'une particule d'hydrogène étant + 1, celle d'une particule d'oxigène est — 2. Dans ce cas, l'eau n'aura aucune action sur le fluide neutre environnant, et il ne se formera pas aux dépens de ce fluide une atmosphère électrique autour des particules de l'eau, pour établir l'équilibre relatif, puisqu'il existe alors entre les deux électricités opposées de leurs élémens; c'est ce qui paroît en effet avoir lieu, du moins à très peu près; mais dans d'autres combinaisons de deux corps, l'un électro-négatif, l'autre électro-positif, où le premier, d'après le nombre des particules qui entrent dans ces combinaisons, donneroit une quantité totale d'électricité négative qui ne seroit pas égale à l'électricité positive de l'autre, la particule du composé qui en résulteroit se conduiroit comme ayant essentiellement une électricité semblable à celle de ces deux électricités qui l'emporteroit sur l'autre, et égale à leur différence.

Cette électricité restante dans les particules du

composé, retenant autour d'elles des atmosphères électriques de l'espèce opposée, il est évident que si les particules électro-négatives dominoient dans la combinaison, ce seroit une partie de leurs atmosphères positives qui fourniroit l'électricité de même espèce des atmosphères des particules du composé électro-négatif, et que l'excédant produiroit du fluide neutre avec les atmosphères négatives des particules du corps électro-positif; c'est le cas des acides dont la nature électro-négative est établie depuis long-temps: dans le cas, au contraire, où les particules électro-positives seroient prépondérantes dans la combinaison, l'électricité négative de leurs atmosphères resteroit en partie autour des particules du composé, et le surplus neutraliseroit les atmosphères positives de l'élément électro-négatif; c'est ce qui arrive quand ce composé est de nature alkaline.

Les particules des acides et des alkalis étant ainsi entourées d'électricité de nature opposée à celle qui leur est propre, c'est-à-dire, les particules des premiers, d'atmosphères d'électricité positive, et celles des seconds, d'atmosphères d'électricité négative, il y aura encore formation de fluide neutre quand elles viendront à se réunir pour produire un sel; quand l'équilibre se trouvera établi seulement entre les électricités propres des particules élémentaires dont il sera composé, ce sera un sel neutre; tandis que le sel sera acide ou alkalin, s'il reste un excès d'électricité négative ou d'électricité positive dans la combinaison, cet excès étant toujours compensé d'ailleurs, quant aux effets qui pourroient en résulter à toute distance appréciable, par des atmosphères d'électricité opposée qui se formeront nécessairement autour de chaque particule du sel.

Cette manière de concevoir les choses me semble une suite nécessaire de l'opinion admise par d'il-

lustres physiciens qui attribuent les propriétés chimiques des corps simples à l'état électrique de leurs particules, et de l'impossibilité qu'une particule soit dans un tel état, sans repousser de l'espace environnant l'électricité de même nom, et attirer autour d'elle de l'électricité opposée; en l'adoptant on ne peut s'empêcher d'admettre 1°. la réunion des deux électricités toutes les fois que deux corps se combinent, ce que je me proposois d'établir, 2°. la production d'une quantité du fluide neutre résultant de cette réunion, d'autant plus grande qu'il y a plus de différence entre l'état électrique de leurs particules.

Mais cette digression m'a trop écarté de la question dont nous nous occupions, celle de la disposition des courans électriques dans les aimans, non autour de leurs axes, mais autour de chacune de leurs particules. J'avois cru d'abord avoir trouvé en faveur de cette dernière manière de concevoir les choses, une preuve qui me sembloit encore plus décisive que toutes celles dont nous avons parlé jusqu'à présent, dans une expérience que j'ai faite au mois de décembre 1821, et que j'ai communiquée à l'Académie des Sciences dans la séance du 7 janvier dernier. M. Faraday avoit dit dans son Mémoire en date du 11 septembre 1821, qu'il n'avoit pu réussir à faire tourner autour de leurs axes ni un aimant par l'action d'un fil conducteur, ni un fil conducteur par celle d'un aimant. J'ai voulu vérifier ce que ce grand physicien dit sur ce sujet, et j'ai observé des effets différens de ceux qu'il annonce. J'ai placé pour cela dans une éprouvette pleine de mercure et dans une situation verticale, un aimant cylindrique, aux deux extrémités duquel se trouvaient deux cavités dont le fond était creusé en écrou, afin de visser à l'une d'elles un contre-poids de platine qui la fît plonger dans le mercure et

maintînt l'aimant dans la situation où je l'avois mis; la cavité de l'autre extrémité, qui s'élevoit au-dessus du mercure de la sixième partie de la longueur de l'aimant, contenoit un peu de mercure dans lequel plongeoit l'extrémité inférieure d'un fil de cuivre vertical communiquant avec un des pôles de la pile; celle-ci étoit de l'autre côté en communication avec le mercure de l'éprouvette, dans une première expérience par quatre fils de cuivre parallèles au premier dans la partie de leur longueur située au-dessus de cette éprouvette, et ensuite par un seul fil qui traversoit le fond de l'éprouvette. L'aimant a tourné sur son axe, très rapidement dans le premier cas, moins rapidement dans le second, mais cependant encore assez vite pour mettre parfaitement en évidence l'action qu'exerçoit sur lui le courant électriqne produit par la pile; ce mouvement cessoit dès que la communication étoit interrompue(1). J'ai aussi fait tourner un conducteur que parcouroit le courant électrique disposé précisément comme l'aimant de l'expérience précédente, et portant à sa partie supérieure une petite coupe pleine de mercure pour les communications; ce conducteur tournoit, mais faiblement, par l'action d'un barreau aimanté; cette action, dans l'expérience que j'ai faite, étoit même trop faible pour vaincre d'abord le frottement du conducteur et du mercure où les deux tiers au moins de sa longueur étoient plongés; il falloit diminuer ce frottement par de petites secousses, en frappant sur la table où reposoit l'éprouvette; on observoit alors l'effet desiré, sans qu'il pût rester aucun doute sur sa cause. Ayant constaté ces faits et attribuant alors uniquement la

(1) Ayant communiqué mon expérience à M. Faraday, il m'a écrit que dès le lendemain du jour où il avoit reçu la lettre dans laquelle je lui en faisois part, il avoit répété cette expérience, et avoit alors obtenu le même mouvement que moi.

rotation de l'aimant à l'action du fil conducteur, et celle du fil conducteur à l'action de l'aimant, ils m'avoient paru décider la question sur la disposition des courans électriques que j'admets dans les aimans, et montrer qu'ils ont nécessairement lieu autour de chaque particule, et ne peuvent être supposés concentriques à l'axe; voici comme je raisonnois alors à cet égard : dans l'expérience où l'aimant tourne par l'action d'une portion de fil conducteur, placé au-dessus de lui dans le prolongement de son axe, il est évident que si l'on cherche, par la formule que j'ai donnée pour cela, la valeur de l'action mutuelle de deux portions infiniment petites de courans électriques, on trouvera que cette action est toujours nulle quand on prend une de ces deux petites portions sur le prolongement de l'axe vertical de l'aimant, et l'autre sur une circonférence horizontale concentrique à cet axe, parce qu'un des facteurs de la valeur générale de l'action est le cosinus de l'angle formé par deux plans passant tous deux par la droite qui joint les milieux des deux petites portions, et qui passent en outre, l'un par la ligne qui représente la direction d'un des courans, et l'autre par la ligne qui représente celle de l'autre courant; or, ici l'un de ces plans est celui qui joint l'axe de l'aimant à un point de la circonférence, et l'autre est un plan mené tangentiellement à ce même point de la circonférence par le milieu de la petite portion de courant électrique placé sur le prolongement de l'axe de l'aimant; ces deux plans sont évidemment perpendiculaires l'un à l'autre, et l'angle qu'ils forment étant droit, le cosinus de cet angle est nul, ce qui rend nulle l'action mutuelle des deux petites portions de courans électriques. Dans la supposition où tous les courans électriques d'un aimant cylindrique seraient ainsi concentriques à son axe, il n'y auroit donc aucune action entre eux et le conducteur dirigé sui-

vant le prolongement de l'axe de l'aimant, ce qui me sembloit contraire à l'expérience que j'avois faite. Voilà pourquoi j'en avois conclu que cette supposition devoit nécessairement être rejetée; au contraire, quand on admet les courans de l'aimant vertical, toujours dans des plans horizontaux, mais autour des particules de cet aimant, son axe rencontre les plans des petites circonférences décrites par ces courans en dehors de ces petites circonférences, et si l'action exercée par un conducteur situé dans le prolongement de l'axe de l'aimant vertical est encore nulle, pour la même raison que dans le cas précédent, sur deux de leurs points qui se trouvent aux deux extrémités d'un diamètre mené par leur centre perpendiculairement à l'axe de l'aimant, elle ne l'est pas, d'après la même formule, sur les deux demi-circonférences situées à droite et à gauche de ce diamètre. On voit aisément qu'il y a attraction sur tous les points de l'une et répulsion sur tous les points de l'autre, et qu'en ne tenant compte que des composantes horizontales de ces attractions et répulsions, puisque leurs composantes verticales ne peuvent déranger l'aimant en le soulevant ou en l'inclinant à cause de la stabilité de son équilibre de flottaison dans une situation verticale, toutes ces composantes horizontales se réunissent pour faire tourner l'aimant autour du conducteur, dans le sens où l'expérience montre qu'il tourne en effet.

Mais cette preuve ne doit plus être établie de la même manière, depuis que de nouvelles expériences et les réflexions qu'elles m'ont suggérées, m'ont appris que le mouvement de rotation de l'aimant sur son axe que j'ai obtenu le premier, et celui de révolution du même aimant autour d'un fil conducteur vertical, découvert par M. Faraday, sont dus beaucoup moins à l'action de ce fil, qu'à celle des courans électriques établis dans le mercure, et dont la

réaction est la cause de la rotation du mercure dans l'expérience de sir H. Davy (1). Je n'ai point le temps de vous donner à ce sujet tous les éclaircissemens que je suis obligé de réserver pour un Mémoire particulier dont je m'occupe actuellement ; il ne peut me rester d'ailleurs aucun doute sur les effets produits par les courans électriques du mercure, puisque j'ai obtenu le mouvement rectiligne de l'aimant flottant par la seule action de ces courans.

J'ai trouvé dans le détail des faits relatifs au genre d'action dont nous nous occupons, plusieurs autres preuves de la disposition des courans électriques autour de toutes les particules des aimans ; diverses circonstances s'expliquent mieux lorsque l'on considère les choses de cette manière, et qu'on admet que les courans existent dans les métaux susceptibles de magnétisme avant l'aimantation, et peut-être dans tous les autres corps, mais qu'ils ne peuvent exercer d'action qu'autant qu'ils reçoivent une direction déterminée, soit par un autre aimant, soit par un courant voltaïque. On conçoit en effet sur le champ par là, 1° que l'aimantation ne sauroit changer la température du corps qui l'éprouve, puisqu'il n'y a pas, d'après cette manière de concevoir comment un barreau d'acier reçoit les propriétés magnétiques, plus de décompositions et de recompositions d'électricité, après l'aimantation qu'il n'y en avait auparavant; 2°. que la cause qui aimante un corps ne lui communique pas la propriété d'exercer l'action électro-motrice, ce qui avoit paru difficile à admettre à plusieurs physiciens qui ont fait de cette difficulté une objection contre ma théorie, mais que cette cause ne fait que diriger des courans électriques préexistans, précisément comme nous voyons qu'elle dirige une portion mobile du circuit voltaïque dans mes expériences; 3°. pourquoi on peut aimanter une aiguille à une

(1) le memoire de Davy qu'on trouvera à la suite de cette lettre n'etait pas encore publié. J.

assez grande distance et à travers des corps non-conducteurs, en faisant agir sur elle le fil qui communique avec les deux extrémités de la pile, puisque l'expérience montre que ce fil agit aussi malgré les mêmes obstacles pour diriger un conducteur mobile; 4°. comment un fil d'acier placé par sir H. Davy, dans une situation où il étoit parallèle à un conducteur voltaïque voisin, a acquis une aimantation transversale, comme s'il étoit composé de petits aimans perpendiculaires à sa direction, aimantation qui a cessé aussitôt que les communications de ce conducteur avec les extrémités de la pile ont été interrompues, tandis qu'un fil d'acier dont la direction faisoit un angle droit avec celle du même conducteur, s'aimantoit longitudinalement, comme l'est l'aiguille d'une boussole, et conservoit indéfiniment son aimantation après l'interruption du courant produit par la pile. Il est aisé de voir en effet que d'après les lois de l'action mutuelle de deux courans électriques, telles que je les ai établies, les courans circulaires qui tournent dans le même sens tendent à se repousser et à changer mutuellement leurs directions quand ils sont dans un même plan, et que le contraire a lieu quand ils sont dans des plans parallèles et que leurs centres se trouvent sur une droite perpendiculaire à ces plans; cette dernière position est celle d'un courant circulaire dans un plan perpendiculaire à celui de la figure 18, et qui seroit projeté en $a'd'$ sur le plan de cette figure, relativement à un autre courant semblable et tournant dans le même sens, projeté en ad sur le même plan, cette situation est celle où ces deux courans ont, à même distance, une force attractive plus considérable; si sans changer leur distance on transporte le courant en $a'''d'''$, on aura la situation du maximum de répulsion; il y a donc, en supposant toujours que

les plans de ces deux courans sont parallèles, une situation intermédiaire en $a''d''$, par exemple, où leur action attractive ou répulsive devient nulle; d'où il est aisé de conclure que dans le cas où l'illustre physicien que je viens de citer, a aimanté transversalement un fil d'acier en le plaçant près d'un conducteur voltaïque dans une direction parallèle à ce conducteur, on devait voir cesser, dès que le courant étoit interrompu, les propriétés magnétiques que ce fil avoit acquises dans une direction perpendiculaire à sa longueur, et en vertu desquelles il agissoit comme s'il étoit composé de petits aimans perpendiculaires à cette longueur; tandis que placé en travers du fil conducteur et aimanté à l'ordinaire par l'action de ce fil, il conservoit indéfiniment les deux pôles produits vers ses extrémités. En effet, dans les deux cas l'action du fil doit donner à tous les courans que j'admets autour des particules de l'acier une direction telle, que leurs plans passant à peu près par le fil conducteur, cette direction soit la même que celle du courant du fil, dans la partie de chacun des courans de l'aimant qui se trouve du côté de ce fil, et dès lors, dans le cas de l'aimantation transversale, un quelconque d'entre eux ne se trouve évidemment dans une des situations où il y a attraction, telle que celles où sont placés, dans la figure 18, les courans projetés en ad, et en $a'd'$, qu'à l'égard des courans qui sont à côté de lui dans l'épaisseur de l'aimant sur une petite portion de sa longueur, tandis que ce courant est repoussé par tous ceux du reste de l'aimant. Il n'est donc pas étonnant qu'alors la disposition produite par l'action du conducteur cesse avec cette action, puisque presque tous les courans tendent à se déranger mutuellement. Dans le cas, au contraire, où la direction du fil d'acier forme un angle droit avec

celle du conducteur, le courant d'une particule n'est repoussé que par ceux des particules qui se trouvent à côté et près de lui; ceux de tout le reste de l'aimant sont à son égard dans la situation où il y a attraction, et la disposition établie par l'action du conducteur peut se conserver plus facilement quand cette action cesse, ainsi que cela arrive en effet. Il faut toujours supposer cependant que les courans éprouvent quelque difficulté à changer leur direction autour des particules; car sans cela ils reprendroient aussitôt, par leur action mutuelle, des directions où il n'y auroit plus aucun courant repoussé par les courans voisins, et où ces courans seroient, par conséquent, dirigés en différens sens et sans action au dehors. Cette condition peut être satisfaite d'une infinité de manières : afin d'en indiquer une facile à concevoir, on peut prendre le cas de huit courans dans les plans des faces d'un octaèdre régulier, dirigés de manière que ceux de deux faces voisines aient la même direction du coté de l'arête où se joignent ces deux faces.

Cette dernière considération explique pourquoi les particules du fer doux, dont les courans changent de direction avec la plus grande facilité, ne conservent point l'aimantation qu'elles ont reçue quand la cause qui l'a produite vient à cesser.

On voit aussi, par ce qui précède, la cause de la difficulté qu'on éprouve à aimanter, même pour peu de temps, une plaque d'acier de manière que ses pôles soient situés au milieu des deux grandes faces de cette plaque, comme le grand physicien dont j'ai cité plus haut l'excellent Mémoire, l'a reconnu en cherchant à aimanter ainsi des plaques d'acier pour leur faire imiter l'action d'un fil conducteur plié en spirale.

Les nouveaux faits contenus dans ce premier Mé

moire de M. Faraday, et celui de la répulsion qu'un fil conducteur très fin et vertical éprouve de la part du mercure dans lequel il plonge par son extrémité inférieure, qu'il a publié dans un second Mémoire, sont de nouvelles preuves de ma théorie qui auroit pu les faire prévoir avant que l'expérience eût été faite, puisqu'ils résultent immédiatement de la loi que j'ai déduite de mes premières expériences, et sur laquelle j'ai fondé presque tout ce que j'ai fait depuis, savoir : que les petites portions de deux courans électriques qui parcourent les deux côtés d'un angle, s'attirent quand les courans sont dans le même sens, c'est-à-dire quand ils vont tous deux en s'approchant ou tous deux en s'éloignant du sommet de cet angle, tandis qu'ils se repoussent quand ils parcourent ces deux côtés en sens contraire, l'un se portant vers le sommet de l'angle, et l'autre allant en s'en éloignant, actions qui atteignent leur maximum à égales distances entre les petites portions des deux courans, quand le sommet de l'angle qu'ils forment s'éloigne à l'infini, et qu'ils deviennent parallèles.

La dernière expérience que M. de La Rive vient de publier dans le n° de décembre de la Bibliothèque universelle, tome XVIII, pages 276 et 277 de la partie des Sciences et Arts, et que cet habile physicien indique comme ne s'accordant pas avec ma théorie, dans toutes les circonstances qu'elle présente, m'en a paru aussi une suite toute naturelle, quand on fait attention aux actions qu'exercent sur le fil plié en anneau, non pas seulement les courans de l'aimant dans la partie où l'anneau le touche, mais l'ensemble de tous les courans de cet aimant. On voit alors pourquoi les deux branches de l'anneau s'appliquent toutes deux contre l'aimant, quoique le courant électrique les parcoure en sens contraire, pourvu que

l'une le touche entre ses deux pôles, et l'autre dans l'intervalle compris entre un des pôles et l'extrémité de l'aimant voisine de ce pôle, seul cas où les deux branches soient toutes deux attirées par l'aimant. Il y a plus d'un an que, dans un Mémoire lu à l'Académie royale des Sciences le 11 décembre 1820, j'avais montré comment ce fait était une suite de l'action de tous les courans électriques de l'aimant. Je l'avois déjà observé à cette époque, mais sans y mettre d'importance, puisqu'il revient à ce que dit M. Œrsted dans son premier écrit sur l'action mutuelle des aimans et des conducteurs voltaïques, quand il y décrit cette action dans le cas où un conducteur vertical agit sur un aimant horizontal. Mon Mémoire n'a pas été imprimé; mais M. Gilet de Laumont en a rendu compte dans le Journal des Mines, et en rapportant les différens faits sur lesquels j'avois fondé les motifs qui me paroissoient devoir faire adopter ma théorie préférablement à l'explication qu'on donne ordinairement des phénomènes magnétiques, il compte parmi ces faits, conformément à ce que j'avois dit dans le Mémoire dont il s'agit : *le changement d'attraction en répulsion entre un aimant et un fil conjonctif dont les directions font un angle droit, quand le fil conjonctif, en se mouvant parallèlement a lui-même, passe d'une situation où il correspond à l'intervalle des deux pôles de l'aimant, à une situation où il se trouve hors de cet intervalle* (1). Il me semble qu'on ne peut exprimer plus clairement le fait en question.

Il est bien aisé aussi de voir que quand on considère les actions exercées par les courans de toute la masse d'un aimant, sur un conducteur perpendiculaire à son axe, la résultante de toutes ces actions

---

(1) Voyez les Annales des Mines, tom. V, p. 557 et 558.

décomposée parallèlement à l'axe donne une force qui est toujours dirigée dans le même sens, et va en croissant à mesure que le conducteur s'éloigne du milieu de l'aimant pour se porter vers un de ses pôles, parce que le nombre des particules qui agissent dans le même sens, va en augmentant. Dans l'expérience de M. De La Rive, c'est, d'après la direction du courant du conducteur relativement à ceux de l'aimant, la branche de l'anneau la plus proche du milieu de l'aimant qui y est attirée, tandis que celle qui en est à une plus grande distance, tend à s'en éloigner de plus en plus; cette répulsion est, par conséquent, plus grande que l'attraction, et l'anneau doit glisser le long de l'aimant en s'éloignant de son milieu, ainsi que cela arrive lorsqu'on fait l'expérience, jusqu'à ce que l'une des branches de l'anneau ayant dépassé l'extrémité de l'aimant, celui-ci se trouve enfilé dans l'anneau, qui revient au milieu de l'intervalle des deux pôles, parce que son courant électrique ayant alors la même direction que ceux des particules de l'aimant, est attiré de tous côtés par eux. Je ne m'étendrai pas plus long-temps sur ce sujet, dont je me propose de parler ailleurs avec plus de détail. Il y a plus d'un mois que j'ai commencé cette lettre, mes occupations m'ont empêché jusqu'à présent de l'achever; je vous prie, Monsieur, d'agréer mes excuses d'avoir été si long-temps sans vous écrire. Mon projet étoit d'y insérer des réponses aux diverses objections qui ont été faites contre ma théorie; vous venez de lire une partie de ces réponses, il ne me restoit plus à éclaircir que quelques difficultés dont la solution se présente assez facilement pour que je puisse me dispenser de la donner, et l'objection beaucoup plus importante que m'a faite M. Œrsted, dans l'excellent Mémoire inséré dans le cahier de septembre du Journal de

Physique. J'avais en quelque sorte répondu à cette dernière, ainsi qu'aux difficultés que d'autres physiciens avoient déduites des circonstances que présente l'aimantation de l'acier par les divers procédés connus, en examinant les mêmes questions dans un exposé de tout ce qui avoit paru sur l'électro-magnétisme avant le mois d'avril dernier; cet exposé (1) est de M. Babinet, professeur de Physique au collége royal de Saint-Louis, et j'y ai fait diverses additions parmi lesquelles se trouvent la réponse à l'objection de M. Œrsted, et des détails sur l'aimantation qui me paraissent propres à lever tous les doutes qui pourroient rester sur la cause à laquelle j'attribue les propriétés des aimans. Je joins ici ces deux morceaux sous forme de post-scriptum.

J'ai l'honneur d'être, etc.

Lorsque les deux aimans parallèles et vis-à-vis l'un de l'autre, *abcd*, *a'b'c'd'*, fig. 19, dont les pôles de même nom A et A', B et B' sont voisins, se repoussent, cette répulsion provient de ce que les courans de la face de l'aimant A'B' projetée en *a'b'* sont ascendans et repoussent les courans descendans de la face voisine *cd* de l'aimant AB. L'action réciproque des courans de ces deux faces, ou plus généralement de toutes les particules de l'aimant, détermine la nature de l'action mutuelle des deux aimans. Mais il n'en est plus de même quand ces deux aimans, sans cesser d'être parallèles, ne sont pas vis-à-vis l'un de l'autre, mais placés comme on le voit dans cette figure. Alors les courans de la face *cd* n'ont plus autant l'avantage de la proximité et de l'action di-

(1) Cet exposé a été inséré dans le cinquième volume de la dernière édition donnée par M. Riffault de la traduction de la Chimie de Thomson; il a été publié séparément chez Méquignon-Marvis, rue de l'Ecole de Médecine, n° 3, à Paris.

recte pour repousser ceux de la face $a'b'$, et en se bornant à considérer les actions mutuelles des quatre faces verticales projetées en ab, cd, $a'b'$, $c'd'$, on voit facilement qu'il y a répulsion entre cd et $a'b'$ et entre ab et $c'd'$, tandis qu'il y a attraction entre ab et $a'b'$, et entre cd et $c'd'$; si l'on fait attention que la répulsion des faces voisines cd et $a'b'$ est plus affoiblie par l'obliquité que ne l'est l'attraction des faces ab, $a'b'$ et cd, $c'd'$, on concevra facilement qu'il y a une certaine position des deux aimans où la répulsion cesse pour faire place à l'attraction, comme le montre l'expérience.

Les deux aimans AB, A'B', étant toujours parallèles, quelle que soit d'ailleurs leur situation, il y a répulsion entre tous les courans voisins dont les plans ont avec la ligne qui en joint les centres, une obliquité plus grande que celle où la répulsion se change en attraction, ainsi que je l'ai expliqué tout à l'heure en parlant des courans projetés en ad et $a''d''$ (fig. 18), tandis qu'il y a attraction entre tous les autres pour lesquels l'obliquité est moindre; d'où il suit qu'en partant de la situation où ils sont vis-à-vis l'un de l'autre et se repoussent, et en faisant mouvoir l'un des aimans de manière à rapprocher de plus en plus deux pôles de noms contraires, tels que A et B' (fig. 19), on arrive à la position où la répulsion se change en attraction. Car le nombre des courans dont la situation est analogue à celle de ad et $a'''d'''$ (fig. 18) et donne lieu à la répulsion, va en diminuant, et au contraire, le nombre de ceux qui s'attirent, parce que leur situation respective se rapproche de celle $a'd'$ à l'égard de ad, va en augmentant. C'est pour cette raison que deux aimans s'attirent dans la situation représentée fig. 19, quand le pôle B' de l'aimant A'B' répond à un point de l'autre aimant suffi-

samment rapproché de A. Alors deux pôles de noms différens A et B′ se trouvent voisins.

De même, en partant de la position de deux aimans où leurs axes sont situés dans la même droite et s'attirent, ce qui a lieu quand les pôles de même nom sont voisins et les courans des deux aimans dans le même sens, on voit, en les faisant passer de cette position à celle de la fig. 19, que l'attraction s'affoiblit de plus en plus, et qu'en continuant de les déplacer dans le même sens, elle devient nulle et fait enfin place à la répulsion : alors deux pôles de même nom se trouvent voisins.

L'identité d'action d'un aimant et d'un conducteur voltaïque se soutient quand on fait agir un aimant sur un barreau d'acier pour lui communiquer la vertu magnétique, son action est alors précisément la même que celle du fil métallique qui joint les deux extrémités de la pile, dans les expériences où l'on emploie ce fil pour aimanter un barreau.

Supposons d'abord qu'on place sur ce barreau une spirale dont le centre réponde à un point quelconque de sa longueur, on verra à ce point se former un point conséquent, et les deux parties du barreau de chaque côté de ce point s'aimanter de manière que les courans électriques que j'admets dans les aimans, se trouvent dirigés comme ceux de la spirale dans les points où elle touche le barreau, et que les deux extrémités de celui-ci soient par conséquent des pôles de même nom, de l'espèce des pôles magnétiques que représente la spirale vue du côté où elle agit sur le barreau. Cette expérience, facile à répéter, ne diffère point de l'aimantation d'un barreau par un fil transversal, d'après le procédé de sir H. Davy. Substituons maintenant à la spirale le pôle d'un aimant où les courans tournent dans le même sens que dans cette spirale, de manière que son axe

soit comme celui de la spirale perpendiculaire au barreau; celui-ci sera aimanté précisément de la même manière; il se formera de même un point conséquent au milieu de la partie du barreau touchée par le pôle de l'aimant, et ses deux extrémités présenteront, comme dans le cas de la spirale, un pôle de même nom que celui de l'aimant qui aura été mis en contact avec le barreau.

En faisant glisser, soit la spirale, soit l'aimant, d'une extrémité à l'autre du barreau toujours dans le même sens, la partie de ce barreau qui se trouvera à chaque instant du côté par où commence le mouvement, conservera ses courans dans la direction qui leur aura été donnée, mais les courans de l'autre partie du barreau seront changés en courans dans la direction opposée, à mesure que le mouvement de la spirale ou de l'aimant les fera trouver de l'autre côté de cette spirale ou de cet aimant, en sorte que l'extrémité du barreau par laquelle aura commencé le mouvement devra présenter un pôle de même nom que celui de l'aimant, et l'extrémité par laquelle il aura fini offrira un pôle de nom contraire, ce qui est conforme à l'expérience.

Mais si le barreau est d'un acier très-dur, une partie des courans qui auront d'abord reçu une direction contraire entre le point de contact et l'extrémité de ce barreau vers laquelle on porte l'aimant, pourront la conserver malgré l'aimantation en sens opposé que tendent à recevoir ensuite les points du barreau où ils existent; et alors ce barreau offrira des points conséquens, comme il arrive en effet souvent quand on emploie ce procédé d'aimantation.

Si l'on suppose qu'on incline l'aimant dont on se sert pour aimanter le barreau, on rendra l'aimantation plus facile, et on tendra à diminuer le nombre des points conséquens, pourvu que l'inclinaison ne

soit pas trop grande. Pour bien concevoir cette circonstance, il faut faire attention que si d'une part on diminue l'action d'une partie des courans de l'aimant, parce qu'on les éloigne par là du barreau, cette action est augmentée pour ceux des courans qui doivent conserver leur direction dans le barreau après l'aimantation, parce que l'angle que forment leurs plans avec ceux des courans de l'aimant, devient aigu, ce qui ne peut manquer de favoriser l'action de ces derniers; c'est précisément le contraire pour les courans en sens opposé, qui doivent changer de direction à mesure que l'aimant les dépasse en continuant son mouvement le long du barreau; ils ne peuvent que perdre de leur intensité à mesure que l'axe de l'aimant s'incline sur celui du barreau : il ne faut pourtant pas que l'angle de ces axes devienne trop petit, parce qu'alors le changement de distance prenant une plus grande influence, l'action de l'aimant pour produire les premiers courans, irait à son tour en diminuant, et le barreau s'aimanteroit moins bien que quand l'aimant est médiocrement incliné sur le barreau. Il est inutile de rappeler que ces divers résultats sont tous conformes à l'expérience.

Si, au lieu de promener le long du barreau un seul aimant dont l'axe fasse un angle droit avec le sien, on en emploie deux, à une petite distance l'un de l'autre, qui le touche par des pôles de noms contraires, il est évident que d'après la manière dont les courans électriques tendent à se diriger mutuellement, les actions des courans des deux aimans se contrarieront pour tous les points du barreau situés hors de l'intervalle de ces aimans, tandis qu'elles se réuniront pour diriger dans le même sens les courans de tous les points du même barreau situés dans cet intervalle. Ces derniers courans acquérant ainsi, dans ce sens, une énergie bien supérieure à celle

des premiers, conserveront seuls leur direction lorsque les aimans ayant parcouru toute la longueur du barreau, l'intervalle qui les sépare aura occupé successivement toutes les parties de cette longueur. C'est ce moyen d'aimantation qui est connu sous le nom de *double touche*, et il est aisé de voir que toutes les circonstances qu'il présente sont une suite nécessaire de ma théorie et de l'aimantation d'un barreau d'acier par un conducteur voltaïque. L'analogie de l'explication déduite de cette théorie et de celle qu'on donne de la double touche dans l'hypothèse de deux fluides magnétiques agissant d'après les mêmes lois que les deux fluides électriques, me dispense d'entrer à ce sujet dans de plus grands détails.

M. Arago a montré par une expérience très-simple que quand un barreau est aimanté sur une partie de sa longueur, cette partie tend, par son action sur le reste du barreau, à en continuer l'aimantation dans le même sens, pourvu qu'il ne soit pas d'une trempe trop dure, ce qui pourrait empêcher cet effet d'avoir lieu, à cause de la difficulté d'aimanter un acier très-fortement trempé, et même dans ce cas l'aimantation est encore produite dans le même sens, dans les parties voisines de la partie déjà aimantée; on s'en assure aisément en enveloppant d'un conducteur plié en hélice une partie seulement d'un fil d'acier pendant quelque temps, et en examinant ensuite l'action qu'exerce ce fil d'acier sur une petite aiguille; on trouve qu'il est aimanté dans le même sens sur une étendue qui est ordinairement à peu près double de celle qui étoit enveloppée par le conducteur; seulement l'intensité va en diminuant graduellement à mesure qu'on s'éloigne de la partie enveloppée. Ce fait, qui est une conséquence nécessaire et immédiate de la théorie où l'on considère les phénomènes magnétiques comme produits

par des courans électriques, s'explique également dans la théorie ordinaire de l'aimant, puisque dans un barreau aimanté en partie, chaque particule de la portion aimantée tend à décomposer le fluide de la particule suivante, de manière à lui donner des pôles situés dans le même sens que les siens, afin que les pôles voisins dans ces deux particules soient d'espèces opposées, comme cela doit être dès qu'on admet que les deux fluides magnétiques s'attirent mutuellement et que chacun d'eux repousse les molécules magnétiques de même espèce que les siennes.

Lorsqu'à l'extrémité d'un barreau d'acier ou de fer, on applique le pôle d'un aimant en ligne droite avec le barreau, celui-ci s'aimante dans la partie qui est voisine du point de contact, dans le même sens que l'est cet aimant, ce qui s'explique également bien dans les deux hypothèses, puisque si l'on admet dans l'aimant des courans électriques, ils doivent, d'après l'expérience de M. Arago, que nous venons de citer, diriger ceux du barreau, de manière qu'ils tournent autour de ses particules dans la même direction, et en faire par conséquent un nouvel aimant dont les pôles soient situés, l'un par rapport à l'autre, dans le même sens que ceux du premier aimant : et que si l'on attribue au contraire les phénomènes magnétiques à la séparation, dans chacune de ces particules, des deux fluides qui s'y neutralisoient auparavant par leur réunion, l'effet de l'aimant, quand il touche par exemple le barreau par son pôle austral, est d'attirer le fluide boréal de chaque particule et d'en repousser le fluide austral, en sorte que toutes les particules deviennent des aimans dont le pôle boréal est du côté de l'aimant et le pôle austral du côté opposé, de manière qu'elles se trouvent toutes aimantées dans le même sens que lui. Quelle que soit

donc celle de ces deux hypothèses qu'on adopte, on en doit conclure également que la partie déjà aimantée ne peut agir sur celle qui ne l'est pas encore que comme le fait l'aimant lui-même, puisque les pôles de cette partie sont situés dans le même sens que ceux de l'aimant; elle ne peut donc que tendre à propager successivement l'aimantation toujours dans le même sens jusqu'à l'autre extrémité du barreau; c'est ce qui arrive en effet quand il est de fer doux, et la propagation des propriétés magnétiques le long du barreau est en général très-rapide dans ce cas, parce que cette substance n'oppose qu'une très-foible résistance, soit dans l'une des hypothèses à la direction des courans électriques, soit dans l'autre à la séparation des deux fluides magnétiques.

Mais lorsque le barreau est d'acier, surtout quand il est trempé de manière à ce qu'il n'acquière qu'avec difficulté les propriétés de l'aimant, on observe un phénomène très-remarquable dont l'explication mérite une attention particulière. Ce phénomène consiste en ce qu'alors il se forme un point conséquent sur le barreau, et que ce barreau présente, au-delà de ce point, des pôles situés en sens opposé à celui des pôles de la partie qui est en contact par son extrémité avec l'aimant, et en a reçu une aimantation semblable à celle de cet aimant.

Il est bien démontré par l'espèce des pôles qui se développent aux extrémités des deux fragmens d'un aimant que l'on casse par lesquelles ces fragmens adhéroient avant la rupture, que l'hypothèse des deux fluides magnétiques ne peut subsister qu'en admettant, comme l'a établi le célèbre Coulomb, que ces deux fluides ne passent jamais, ainsi que le fait l'électricité, d'une particule à l'autre, et que tous les phénomènes magnétiques sont dus à leur séparation dans une même particule, en sorte qu'un

aimant n'est qu'un assemblage d'autant de petits aimans qu'il contient de particules, dont chacun a un pôle austral et un pôle boréal. Il est évident alors que quand un barreau a été aimanté sur une partie de sa longueur par le contact d'une de ses extrémités avec un aimant, la partie aimantée l'étant dans le même sens que cet aimant, elle ne peut agir que comme lui, et qu'elle joint nécessairement son action à la sienne pour propager l'aimantation le long du barreau, toujours dans le même sens; à quoi peut-on donc attribuer dans cette supposition la production d'un point conséquent et l'aimantation en sens contraire de la partie du barreau située au-delà de ce point?

Il paraît d'abord qu'on tombe dans le même inconvénient lorsqu'on attribue les phénomènes magnétiques aux courans électriques qui s'établissent dans le barreau, car lorsqu'il n'y a encore qu'une partie du barreau où les courans soient dirigés dans le même sens, ces courans doivent tendre à donner, de proche en proche, la même direction aux courans du reste du barreau. Pour voir comment il peut arriver, par la difficulté que ceux-ci éprouvent à changer de direction dans l'acier fortement trempé, qu'il se forme un point conséquent, et qu'au-delà de ce point les courans tournent dans le sens opposé, considérons les trois barreaux AB, A'B', A"B" (fig. 20), et supposons que le premier seul soit aimanté, et qu'en les laissant dans les directions où ils sont représentés dans cette figure, on les rapproche les uns des autres, de manière que l'angle *d* du premier touche l'angle *a'* du second, et l'angle *d'* de celui-ci l'angle *a"* du troisième; il est clair qu'en regardant A comme le pôle austral de l'aimant AB, ses courans dans sa face antérieure suivront la direction *ad*, puisque c'est en plaçant l'observateur dans cette direction, le dos

tourné à l'axe de l'aimant, que l'extrémité A se trouve à sa droite; les courans du barreau A'B' devront donc, d'après tout ce que nous avons dit, avoir alors la même direction au point où l'angle *d* est supposé en contact avec l'angle *a'*; ils passeront donc par la face postérieure de ce barreau de *a'* en *d'*, et reviendront par la face antérieure dans la direction *d'a'*, d'où il suit que A'B' s'aimantera de manière que son pôle boréal sera en A' à gauche de l'observateur placé dans ce courant et tournant le dos à l'axe du barreau A'B'; ainsi aimanté, ce barreau communiquera les propriétés magnétiques à A''B'', de manière que leurs courans aient la même direction aux angles *a''* et *d'* par lesquels ils se touchent, les courans du barreau A''B'' iront donc sur sa face antérieure dans la direction *a''d''*, et comme l'extrémité A'' est à la droite de l'observateur placé, dans ces courans, toujours de la même manière, A'' sera le pôle austral de A''B''.

L'aimant AB qui auroit aimanté A''B'' de manière que le pôle boréal de celui-ci fût en A'', s'il l'avoit touché immédiatement par son pôle austral A, l'aimantera donc au contraire de manière que A'' soit un pôle austral de même nom que A, quand ils ne communiqueront que par l'intermède du barreau A'B' dont l'axe est perpendiculaire aux leurs : or, c'est précisément ce qui arrive quand il se forme un point conséquent dans un barreau fortement trempé qui touche le pôle austral d'un aimant par une de ses extrémités. La partie voisine du barreau s'aimante d'abord de manière que cette extrémité est un pôle boréal, comme l'extrémité B de l'aimant AB que nous prendrons pour représenter cette partie du barreau, en représentant l'autre partie du même barreau par A''B''; tant que l'électricité de cette dernière partie pourra obéir librement à l'action des courans de AB,

on aura le cas où AB étant déjà aimanté, et A″B″ ne l'étant point encore, ils se touchent immédiatement, c'est-à-dire que l'aimantation se propagera toujours dans le même sens; mais si la dureté de la trempe s'oppose à cet effet, il arrivera dans le barreau, quoique continu, ce qui arrive à AB et à A″B″, quand ils ne communiquent qu'à l'aide du barreau A′B′, dont l'axe est perpendiculaire à la direction des leurs; en sorte que les courans de quelques-unes de ses particules tourneront autour d'une normale à sa surface, dans le sens où nous venons de voir que tournent les courans de A′B′. Ces courans tendront donc à aimanter le reste du barreau dont nous parlons, en sens contraire, comme ceux de A′B′ aimantent A″B″, de manière que ses pôles soient situés en sens inverse de ceux AB, et il se produira ainsi un point conséquent, conformément à l'expérience que nous nous étions proposé d'expliquer.

Je rouvre aujourd'hui 27 mars 1822, ma lettre commencée le 12 janvier dernier, pour vous faire part, Monsieur, d'une expérience que je viens de faire : j'ai, au moyen d'un nouvel appareil dont je me propose de donner bientôt une description détaillée, rendu aussi rapide que je pouvais le désirer, le mouvement de révolution, toujours dans le même sens, d'un conducteur vertical, tant par l'action seule de la terre que par celle d'un conducteur horizontal plié en spirale et faisant partie du même circuit voltaïque, mouvement que j'avais déjà obtenu il y a plus de trois mois dans ces deux cas, mais très lent et difficile à bien observer par l'imperfection de l'appareil dont je faisais alors usage.

EXPOSÉ *sommaire des nouvelles Expériences électro-magnétiques faites par différens Physiciens, depuis le mois de mars* 1821, *lu dans la séance publique de l'Académie royale des Sciences, le* 8 *avril* 1822. (1)

L'HISTOIRE des sciences nous offre des époques marquées par des découvertes fécondes qui amènent à leur suite une multitude d'autres découvertes. Telle fut, à la fin du dernier siècle, celle où Volta inventa l'instrument que la juste reconnaissance du monde savant a consacré à son auteur, en lui donnant le nom de *pile voltaïque*.

Cet instrument est composé d'un certain nombre de plaques de deux métaux différens, qui alternent entre elles et avec une substance liquide, de manière que, d'une extrémité de l'appareil à l'autre, les deux métaux et le liquide se suivent toujours dans le même ordre.

La première et la dernière plaque portent chacune un fil métallique: tant que ces fils restent séparés, ils présentent tous les caractères des corps électrisés : mis à la fois en contact avec un corps susceptible de décomposition, leur action devient un des plus puissans moyens d'analyse, et la Chimie doit à l'emploi de ce moyen de nouvelles substances et des idées plus justes sur la nature des principaux matériaux du globe que nous habitons : enfin lorsque ces deux fils sont intimement réunis, les phénomènes purement électriques et les phénomènes chimiques disparaissent, mais l'électricité qui parcourt alors les fils d'un mouvement continu avec une inconcevable rapidité, manifeste son activité par de nouveaux effets qui ne sont pas moins remarquables. L'élévation de la température de ces fils, leur incandescence, leur com-

(1) Journal de Physique, tome XCIV, p. 61-66.

bustion étaient les seuls qu'on eût remarqués, quand M. Œrsted, en découvrant que les mêmes fils exercent dans ce cas un nouveau genre d'action, différent à tous égards des attractions et des répulsions produites par l'électricité ordinaire, a pour jamais attaché son nom à une nouvelle époque qui sera peut-être marquée, dans l'histoire des sciences, par des résultats aussi nombreux et aussi importans que ceux qu'elles ont dus à la découverte de Volta.

On donne ordinairement à ce nouveau genre d'action le nom d'*action électro-magnétique*, parce que, dans le premier exemple d'une telle action, celui qu'a observé M. Œrsted, elle s'exerce entre un aimant et le fil conducteur de l'électricité qui joint les deux extrémités de la pile (*).

Le savant professeur danois a ouvert, par cette grande découverte, une nouvelle carrière aux recherches des physiciens. Ces recherches n'ont pas été infructueuses; elles ont conduit à la découverte

(*) Depuis que j'ai découvert l'action mutuelle de deux conducteurs voltaïques qui est évidemment de même nature que celle d'un conducteur sur un barreau aimanté, et qui agit sans le concours d'aucun aimant, le nom d'*action électro-magnétique*, que je n'emploie ici que pour me conformer à l'usage, ne saurait plus convenir pour désigner cette sorte d'action. Je pense qu'elle doit l'être sous celui d'*action électro-dynamique*. Ce nom exprime que les phénomènes d'attraction et de répulsion qui la caractérisent, sont produits par l'électricité en mouvement dans les conducteurs voltaïques, tandis que les attractions et répulsions toutes différentes de l'électricité ordinaire, ne supposent que l'inégale distribution des deux fluides électriques en repos dans les corps où elles se manifestent, et nous offrent ainsi cette autre manière d'agir de ces fluides qu'on connaît depuis long-temps et qu'on devrait distinguer de la précédente en lui donnant le nom d'*action électro-statique*.

d'une foule de faits dignes de captiver l'attention de tous ceux qui s'intéressent aux progrès des sciences.

Dans la séance publique tenue l'année dernière par l'Académie, j'ai cru devoir présenter une analyse rapide des phénomènes dus à l'action électro-magnétique qu'on avait jusqu'alors observés (1). Aujourd'hui j'essaierai d'exposer, en peu de mots, les résultats des nouvelles expériences qu'a vu naître l'année qui vient de s'écouler.

Sir H. Davy, ayant remarqué que les différens métaux ne conduisent pas le courant voltaïque avec une égale facilité, a mesuré, par des moyens simples et précis, les divers degrés de leur faculté conductrice. Il a déterminé l'influence de la température sur les effets de la pile ; il a montré que, dans le cas où le courant voltaïque traverse sous la forme d'une gerbe lumineuse de l'air raréfié, il est attiré ou repoussé par un barreau aimanté, de la même manière que quand il est conduit par un fil métallique. Cette expérience est d'autant plus remarquable, qu'elle confirme l'ingénieuse explication qu'a donnée M. Arago du singulier et brillant phénomène des aurores boréales. Enfin, voici un dernier fait que le savant physicien anglais vient de découvrir : quand on place un barreau fortement aimanté dans une situation verticale, au-dessus ou au-dessous d'une coupe qui contient du mercure où plongent deux conducteurs mis en communication avec les extrémités de la pile, il se forme dans le mercure un tourbillon autour de chaque conducteur.

M. Faraday, à qui la Chimie doit l'importante découverte des chlorures de carbone, a fait connaître, entre un aimant et un conducteur voltaïque, une action toute différente dans ses effets de celle qu'a découverte M. Œrsted; elle s'en rapproche seulement en ce qu'on peut les déduire toutes deux de

la loi générale à laquelle j'ai tenté de ramener tous les phénomènes électro-magnétiques. Cette action produit un mouvement de révolution qui se continue toujours dans le même sens. Ce mouvement s'observe également dans un conducteur libre de se mouvoir autour d'un aimant fixe, et dans un aimant que l'on rend mobile en le faisant flotter sur du mercure. L'aimant tourne alors autour du point où le conducteur est en contact avec le mercure.

Le même physicien a fait une expérience très remarquable : elle met en évidence l'action mutuelle de deux courans qui parcourent, en sens contraires, les deux côtés d'un angle droit. Si l'on fait plonger, dans deux coupes pleines de mercure, les extrémités d'un fil métallique, plié en fer à cheval et suspendu en équilibre dans une situation verticale, on voit ce fil s'élever à l'instant où l'on met les coupes en communication avec les extrémités de la pile. Le courant électrique suivant alors des directions opposées dans le mercure et dans le fil métallique, établit entre ces deux corps une répulsion qui est la cause de ce phénomène. (1)

Il résulte des premières expériences de M. Œrsted et de la manière dont j'ai ramené les phénomènes de l'aimant à ceux de l'électricité, que si l'on place un conducteur flottant, courbé en anneau, à côté d'un barreau aimanté, les branches de l'anneau seront toutes deux attirées, ou toutes deux repoussées quand le pôle de l'aimant répondra à l'intérieur de l'anneau. M. de la Rive a reconnu ce fait nouveau que, dans le cas où les branches sont attirées, l'anneau, après s'être appliqué contre l'aimant, glisse jusqu'à ce qu'une de ses branches en atteigne l'extrémité, et passe de l'autre côté. L'anneau qui entoure alors le barreau, revient et s'arrête au milieu de l'intervalle des deux pôles.

(1) le déplacement est une conséquence de cette loi qu'un circuit flexible tend toujours à comprendre une surface maximum. J.J.

Dès que j'eus connaissance du mémoire dans lequel M. Faraday annonçait le mouvement de révolution qu'un aimant imprime toujours dans le même sens à un conducteur voltaïque, il me fut aisé de voir que si l'on n'avait pas observé plutôt cet effet, c'est que l'on s'était servi de conducteurs formant des circuits presque fermés, dans lesquels l'action électro-magnétique ne peut produire cette sorte de mouvement, parce qu'elle tend toujours à faire tourner une moitié du circuit dans son sens, et l'autre moitié dans le sens opposé, dès que celle-ci a été amenée à la place de la première, par une demi-révolution de l'appareil. Je voulus savoir ensuite si le même mode d'action avait lieu entre deux conducteurs voltaïques, ainsi qu'entre un conducteur et le globe terrestre. Dans mes expériences du mois de décembre 1821, je fus assez heureux pour obtenir le mouvement de révolution continu dans ces deux cas; mais à cause de l'imperfection des appareils dont je me servais d'abord pour produire ce mouvement, il n'avait lieu qu'avec une extrême lenteur. Depuis, j'ai construit un instrument au moyen duquel on rend le même mouvement plus rapide, et par là plus facile à observer.

M. Faraday, dans le cours de ses recherches sur le mouvement de révolution dont je viens de parler, avait vainement essayé d'imprimer, soit à l'aimant, soit au conducteur voltaïque, un mouvement de rotation autour de leurs axes. J'ai obtenu d'abord la rotation de l'aimant, et, peu de temps après celle du conducteur. Frappé de la rapidité avec laquelle je voyais l'aimant tourner sur lui-même, j'ai cherché la cause du peu de succès des premières expériences faites pour obtenir ce mouvement. Dans cette vue, j'ai remarqué que, d'après les lois générales de l'action électro-dynamique, si un cou-

rant électrique tend à faire tourner un aimant dans un sens quand le courant se porte vers l'aimant, il tendra à le faire tourner dans le sens opposé quand le courant s'en éloigne. Ainsi, tant que le courant d'une part se porte vers l'aimant, et de l'autre s'en éloigne, en traversant deux corps qui ne sont pas liés avec cet aimant, les deux corps tendent à le faire tourner en sens opposé, et par conséquent il reste en équilibre entre deux forces égales. Mais lorsque le barreau aimanté sert lui-même de conducteur, et remplace l'un de ces corps, la partie du courant qui le traverse ne peut plus lui imprimer aucun mouvement. L'une des deux forces qui se faisaient équilibre, se trouvant ainsi supprimée, l'autre agit seule et fait tourner l'aimant. Cette condition était en effet remplie dans mon expérience; et c'est sans doute parce qu'elle ne l'était pas dans les premières tentatives faites à cet égard, qu'il n'y a pas eu de rotation.

Enfin, M. Savary, dont les premiers essais dans la carrière des sciences annoncent les progrès qu'elles lui devront probablement un jour, ayant imaginé un appareil propre à observer le mouvement qu'imprime à un conducteur plié en spirale, l'action des courans qui traversent l'eau acidulée dans laquelle il plonge, lorsque le circuit voltaïque, dont ces courans font partie, se continue par le conducteur, j'ai fait exécuter cet appareil, et j'ai trouvé qu'effectivement il tournait dans le sens qu'avait prévu le jeune physicien auquel nous le devons. Ce sens est déterminé par celui des spires; il reste toujours le même quand on renverse la direction des courans; c'est ce qui distingue le mouvement dû à cette cause de celui qui est produit par l'action du globe terrestre, et qui a lieu en sens opposés quand les courans sont excités alternativement dans deux

directions contraires. La force émanée du globe étant plus faible que celle des courans de l'eau acidulée, s'ajoute ou se retranche suivant que ces deux forces agissent pour faire tourner la spirale dans le même sens ou en sens contraire. On remarque, en effet, que le mouvement de révolution est plus rapide dans le premier cas que dans le second.

Tels sont les nouveaux progrès que vient de faire une branche de la Physique, dont nous ne soupçonnions pas même l'existence il y a seulement deux années, et qui déjà nous a fait connaître des faits plus étonnans peut-être que tout ce que la science nous avait jusqu'à présent offert de phénomènes merveilleux. Un mouvement qui se continue toujours dans le même sens, malgré les frottemens, malgré la résistance des milieux, et ce mouvement produit par l'action mutuelle de deux corps qui demeurent constamment dans le même état, est un fait sans exemple dans tout ce que nous savions des propriétés que peut offrir la matière inorganique ; il prouve que l'action qui émane des conducteurs voltaïques, ne peut être due à une distribution particulière de certains fluides en repos dans ces conducteurs, comme le sont les attractions et les répulsions électriques ordinaires. On ne peut attribuer cette action qu'à des fluides en mouvement dans le conducteurs qu'ils parcourent en se portant rapidement d'une des extrémités de la pile à l'autre extrémité.

J'avais, le premier, signalé l'identité d'action entre les conducteurs voltaïques et des courbes fermées, situées transversalement sur la surface ou dans l'intérieur d'un barreau aimanté. J'en avais conclu que les aimans doivent les propriétés qui les caractérisent à des courans électriques, semblables à ceux que produit l'appareil de Volta et dirigés suivant ces

courbes. D'autres physiciens ont cru pouvoir renverser cette analogie, en continuant d'expliquer les phénomènes magnétiques comme on l'avait fait jusqu'alors, et en supposant que les particules des conducteurs devenaient, par l'action de la pile, de véritables aimans, dont les axes étaient perpendiculaires à ceux de ces conducteurs.

J'avais examiné cette hypothèse avant de me décider pour celle que j'ai adoptée, et je l'avais rejetée plutôt d'après l'ordre général des faits qu'en m'appuyant sur des preuves directes. Ces preuves résultent aujourd'hui des nouveaux phénomènes que je viens de rappeler, parce qu'ils sont propres (2) aux portions mobiles des conducteurs voltaïques qui ne forment pas des circuits presque fermés, et qu'on ne peut dès-lors imiter avec des aimans; tandis qu'on peut, comme je l'ai fait voir depuis longtemps, imiter tous les phénomènes que présentent ces derniers corps avec des fils conducteurs, en pliant ces fils de manière à en former des circuits presque fermés. Ils agissent alors comme un barreau aimanté, dans lequel l'explication la plus naturelle des faits m'a conduit à supposer des courans électriques qui forment des circuits toujours complètement fermés.

C'est ainsi que de deux hypothèses servant à expliquer un certain nombre de phénomènes, celle où l'on ne peut en rendre raison qu'en s'efforçant de la faire concorder avec eux, est ordinairement démentie par d'autres phénomènes dont le temps amène successivement la découverte; et celle au contraire qui n'est pour ainsi dire que l'expression des véritables rapports des faits qu'elle explique, se trouve confirmée chaque fois que l'expérience nous en fait connaître de nouveaux.

NOTES sur cet exposé des nouvelles Expériences relatives aux Phénomènes produits par l'action électro-dynamique, faites depuis le mois de mars 1821.

(1) La notice que je lus dans la séance publique du 2 avril 1821, étant très abrégée, ce n'est qu'en consultant l'analyse des travaux de l'Académie royale des Sciences pendant l'année 1820, qui fut publiée le même jour, qu'on peut se faire une idée suffisante des résultats obtenus à cette époque sur les phénomènes électro-dynamiques; on y trouve une indication précise de tout ce que M. Arago et moi avions fait alors sur ce sujet. Mon travail y est présenté comme étant *divisé naturellement en trois parties bien distinctes: la première se compose des faits nouveaux relatifs à l'action mutuelle de deux portions de conducteurs voltaïques et à celle du globe terrestre sur un conducteur mobile;* la seconde, *de quelques nouveaux faits relatifs à l'action mutuelle des fils conducteurs et des aimans, découverte par M. Œrsted, qui complètent les résultats obtenus par ce célèbre physicien, et des conséquences que j'ai déduites de ces résultats et de mes propres expériences, relativement à l'identité de l'électricité et du magnétisme;* la troisième *consiste dans les recherches que j'ai faites sur les lois mathématiques des attractions et répulsions de deux fils métalliques faisant partie d'un circuit voltaïque; lois déduites,* 1°. *de l'égalité des actions exercées sur un conducteur rectiligne mobile par deux conducteurs fixes, l'un rectiligne, et l'autre plié et contourné à chacun de ses points de manière que les distances de ces points à ceux du conducteur mobile soient sensiblement les mêmes que celles des points du conducteur fixe rectiligne,* 2°. *de quelques résultats généraux des faits déjà connus, ou de ceux que j'avais observés.*

Cette distinction entre les trois parties de mon travail, qui se trouve aussi énoncée de la même manière dans la notice sur ce sujet, insérée dans le tome XVI de la Bibliothèque universelle, est d'autant plus importante, que ces trois parties de mes recherches sur ce genre d'action sont absolument indépendantes les unes des autres, et me semblent devoir être examinées séparément par les physiciens qui veulent s'en faire une idée juste; mais cet examen suppose qu'elles soient exposées avec des détails suffisans, et les deux premières seules l'ont été dans le Mémoire qui est au commencement de ce recueil ; la troisième l'était dans des Mémoires lus à l'Académie royale des Sciences les 4, 11, et 26 décembre 1820, qui n'ont point été imprimés, mais dont les principaux résultats ont été publiés dans le Journal de Physique, cahier de septembre 1820, et dans une note insérée dans les Annales des Mines, t. V, page 537 et suivantes; note que j'ai réimprimée dans ce volume, pages 69 et suivantes. C'est dans ces ouvrages qui j'ai donné la formule qui représente l'action mutuelle de deux portions infiniment petites de courans électriques. Cette formule contenait un coefficient dont je ne suis parvenu à déterminer la valeur que depuis peu de temps; comme cette détermination est le sujet d'un Mémoire dont la rédaction m'occupe actuellement, je me bornerai ici à extraire de ceux que j'ai lus à l'Académie en 1820, les détails relatifs à la manière dont j'avais dès lors établi ma formule telle qu'elle se trouve dans les ouvrages que je viens de citer.

Le premier fait général que je déduisis de mes expériences sur l'action mutuelle de deux conducteurs voltaïques, consiste en ce que si deux portions de conducteurs voltaïques agissent l'une sur l'autre, et qu'on vienne à changer la direction du courant électrique dans l'une d'elles, sans faire aucun changement

dans leurs positions respectives, l'action qui s'exerçait auparavant entre elles, si elle était attractive, se change en une action répulsive égale, et, si elle était répulsive, en une attraction de même intensité (*). J'appliquai ce résultat, confirmé par toutes les expériences que j'avais faites sur des courans électriques d'une longueur finie, à deux portions infiniment petites de ces courans, que je ne pouvais soumettre immédiatement à l'expérience, et j'en tirai cette conclusion, que l'action mutuelle de deux portions infiniment petites de fils conducteurs, est nécessairement nulle toutes les fois qu'il n'y a, dans leur situa-

(*) Si après avoir changé le sens du courant dans l'un des conducteurs, on le change aussi dans l'autre, la répulsion qui, par le premier changement, avait pris la place de l'attraction, sera, pour la même raison remplacée à son tour par l'attraction, en sorte que l'action redeviendra telle qu'elle était d'abord. On voit de même que quand les fils se repoussent d'abord, si l'on change la direction du courant dans l'un d'eux, l'action devient attractive, et qu'elle redevient répulsive quand on le change aussi dans l'autre : or toutes les fois que deux portions d'un même circuit, l'une fixe et l'autre mobile, agissent l'une sur l'autre, on change à la fois le sens du courant dans toutes les deux, quand on fait communiquer chaque extrémité du circuit avec celle de la pile qui communiquait auparavant avec l'autre extrémité du même circuit : ce double changement n'en peut donc produire aucun dans l'action mutuelle de ces deux parties, et le mouvement de la partie mobile doit rester par conséquent le même, ce qu'on observe en effet constamment. Mais cette remarque si simple devient très importante pour distinguer sur-le-champ les mouvemens produits dans le conducteur mobile par l'action des parties fixes du circuit, des mouvemens qui pourraient lui être imprimés par la pile elle-même, le globe terrestre, ou un aimant. Il suffit, pour cela, de renverser les communications entre les deux extrémités du circuit et celles de la pile, les mouvemens dus à l'action mutuelle des diverses parties de ce circuit restent alors les mêmes, et ceux qui seraient produits par l'action de la pile, de la terre ou d'un aimant, ont à l'instant lieu en sens contraire.

tion respective, aucune circonstance qui distingue l'un de l'autre les deux sens suivant lesquels une de ces deux petites portions peut être parcourue par le courant électrique; car alors, en y renversant le sens de ce courant, l'action, si elle existait, devrait rester la même; attractive si elle était attractive, et répulsive si elle l'était, tandis que, d'après le fait général dont je viens de parler, l'attraction se change au contraire, dans ce cas, en répulsion, et la répulsion en attraction. Ainsi, ce ne peut être que quand la situation respective des deux petites portions de fils conducteurs présente des circonstances qui distinguent, dans chacune de ces portions, les deux sens suivant lesquels le courant électrique peut les parcourir alternativement, qu'il est possible qu'il s'exerce entre elles une action attractive ou répulsive selon le sens, déterminé par ces circonstances, qu'on y donne au courant électrique.

Considérant alors deux petites portions de courans électriques, l'une dans un plan, et l'autre dirigée perpendiculairement à ce plan, il me fut aisé de voir 1°. que, quand cette dernière est au-dessus et au-dessous du plan, les deux sens dans lesquels elle peut être parcourue par le courant électrique sont distingués l'un de l'autre par cette circonstance que, dans un cas, ce courant va en s'approchant du plan et, dans l'autre, en s'en éloignant; que rien ne s'oppose par conséquent alors à ce qu'il y ait une action soit attractive, soit répulsive, entre les deux petites proportions que l'on considère, pourvu que le sens du courant de celle qui est dans le plan puisse aussi être déterminé par des circonstances dépendantes de la situation respective de ces deux petites portions, ce que j'examinerai tout à l'heure, 2°. que si au contraire, le milieu de la portion infiniment petite perpendiculaire au plan se trouve dans ce plan, tout étant égal des deux côtés du plan,

il n'y aura plus aucune différence entre les deux sens suivant lesquels le courant électrique peut la parcourir qui dépende de sa situation relativement à celle qui est dans le plan, et les deux portions de fils conducteurs ne pourront plus exercer aucune action l'une sur l'autre; résultat qu'on peut énoncer généralement ainsi : l'action attractive ou répulsive de deux portions infiniment petites de courans électriques devient nécessairement nulle quand leur situation respective dans l'espace est telle, que si l'on fait passer par le milieu de l'une d'elles, un plan perpendiculaire à sa direction, la droite qui représente la direction de l'autre se trouve tout entière dans ce plan.

Lorsque la petite portion perpendiculaire à un plan où se trouve la direction de l'autre est au-dessus ou au-dessous de ce plan, on voit, par la même raison, qu'il ne peut y avoir d'action entre elles que quand le sens du courant est aussi déterminé par des circonstances dépendantes de leur situation respective dans la petite portion qui se trouve dans ce même plan. Si nous concevons qu'on ait tiré une ligne du milieu de celle-ci au pied de la perpendiculaire sur laquelle se trouve la première petite portion de courant électrique, nous verrons que tant que la direction de celle qui est dans le plan formera deux angles inégaux, l'un aigu et l'autre obtus, avec cette ligne, le sens du courant sera déterminé par l'inégalité de cés angles, parce que, dans un cas, il ira, en s'éloignant de leur sommet commun, du côté de l'angle aigu, et que, dans l'autre cas, il ira en s'en éloignant du côté de l'angle obtus : les deux petites portions de courans électriques pourront donc alors agir l'une sur l'autre comme elles agissent en effet d'après l'expérience : mais si ces deux angles sont droits, il ne pourra plus y avoir de distinction entre les deux sens du courant passant par la petite portion de fil conducteur qui est dans le plan, parce que toutes les cir-

constances seront les mêmes de part et d'autre de la ligne qui en joint le milieu au pied de la perpendiculaire : d'où il suit que l'action mutuelle entre les deux petites portions de courans électriques sera nécessairement nulle.

Ce cas, au reste, rentre dans celui que j'ai d'abord examiné, puisque, si l'on élève alors au milieu de la petite portion de courant électrique qui est dans le plan que nous avons considéré jusqu'ici, un second plan perpendiculaire à sa direction, l'autre petite portion se trouvera tout entière dans ce second plan, et qu'une des deux petites portions sera ainsi dans le plan élevé perpendiculairement sur le milieu de l'autre. La première expérience qui me fournit les données dont j'avais besoin pour exprimer, par une formule, la valeur de l'action électro-dynamique, fut faite avec un fil conducteur roulé en hélice autour d'un tube de verre d'un petit diamètre, dans l'intérieur duquel revenait, par l'axe de cette hélice, une portion rectiligne du même fil, ainsi que je l'ai expliqué dans ce volume, page 27 et 28, et dans le tome XV des Annales de Chimie et de Physique, pages 175 et 176. Je m'assurai, par des expériences plusieurs fois répétées avec des conducteurs très mobiles, que la réunion de cette hélice et de cette portion de fil conducteur rectiligne, n'exerçait aucune action sur un autre fil conducteur parallèle à l'axe de l'hélice. Je me rendis compte de ce résultat, en admettant, comme une loi générale de l'action électro-dynamique, que si l'on conçoit dans l'espace une ligne représentant en grandeur et en direction la résultante de deux forces qui sont semblablement représentées par deux autres lignes, et qu'on suppose dans les directions de ces lignes trois portions infiniment petites de courans électriques, dont les forces attractives ou répulsives sont proportionnelles à leurs longueurs, la petite por-

tion dirigée suivant la résultante exercera, dans quelque direction que ce soit sur une autre portion infiniment petite de courant électrique, la même action que la réunion des deux petites portions dirigées suivant les composantes.

Je communiquai cette loi à l'Académie royale des Sciences, dans un Mémoire lu à la séance du 6 novembre (*). Je remarquai dans ce Mémoire, 1°. que les attractions et répulsions dont j'avais reconnu l'existence entre des portions de fils conducteurs, ne peuvent être produites comme le sont celles de l'électricité ordinaire, par l'inégale distribution des deux fluides électriques qui s'attirent mutuellement, et dont chacun repousse une autre portion de fluide de même espèce que lui, puisque toutes les propriétés jusqu'alors connues des fils conducteurs, montrent que ni l'un ni l'autre de ces deux fluides ne se trouvent en plus grande quantité dans un corps qui sert de conducteur au courant électrique, que dans le même corps à l'état naturel; 2°. qu'il est difficile de ne pas en conclure que ces attractions et répulsions pourraient bien être produites par le mouvement rapide des deux fluides électriques parcourant en sens contraire le conducteur par une suite de décompositions et recompositions presque intantanées : mouvement admis, depuis Volta, par tous les physiciens qui ont adopté la théorie donnée par cet illustre savant de l'admirable instrument dont il est l'auteur; 3°. qu'en attribuant à cette cause les attractions et répulsions des fils conducteurs, on ne peut se dispenser d'admettre que les mouvemens des deux électricités dans ces fils, se propagent tout autour dans le fluide neutre qui est formé de leur réunion, et dont tout

---

(*) Voyez le *Moniteur* du 10 novembre 1820.

l'espace doit nécessairement être rempli lorsqu'on explique comme on le fait ordinairement les phénomènes de l'électricité ordinaire ; en sorte que quand les mouvemens produits ainsi dans le fluide environnant, par deux petites portions de courans électriques, se favorisent mutuellement, il en résulte entre elles une tendance à se rapprocher, ce qui est en effet le cas où on les voit s'attirer; et que quand les mêmes mouvemens se contrarient, les deux petites portions de courans tendent à s'éloigner l'une de l'autre, comme le montre l'expérience; 4°. que si l'on regarde les attractions et répulsions dont il est ici question comme produites en effet par cette cause, la loi d'après laquelle une petite portion de courant électrique peut être remplacée par deux autres qui soient à son égard ce que sont deux forces relativement à la résultante de ces deux forces, est une suite nécessaire de cette supposition, puisque les vitesses se composent comme les forces, et que le mouvement communiqué au fluide qui remplit l'espace par la petite portion de courant représenté en grandeur et en direction par la résultante, est nécessairement le même que celui qui résulterait, dans le même fluide, de la réunion des deux petites portions de courans représentées de la même manière par les deux composantes.

A l'époque où je m'occupais de ces idées, M. Fresnel me communiquait ses belles recherches sur la lumière dont il a déduit les lois qui déterminent toutes les circonstances des phénomènes de l'optique. J'étais frappé de l'accord des considérations sur lesquelles il s'appuyait, et de celles qui s'étaient présentées à mon esprit relativement à la cause des attractions et répulsions électro-dynamiques. Il prouvait, par l'ensemble de ces phénomènes, que le fluide répandu dans tout l'espace, qui ne peut

être que le résultat de la réunion des deux électricités, était à peu près incompressible, passait à travers tous les corps comme l'air à travers une gaze, et que les mouvemens excités dans ce fluide s'y propageaient par une sorte de frottement des couches déjà en mouvement sur celles qui ne l'étaient pas encore. D'après cela il était naturel de penser que le courant électrique d'un fil conducteur faisait en partie partager son mouvement au fluide neutre environnant, et frottait en partie contre lui, de manière à donner naissance à une réaction de ce fluide sur le courant, qui ne pouvait tendre à déplacer celui-ci tant que la différence de vitesse était la même de tous les côtés du courant électrique, mais qui devait tendre à le mouvoir soit du côté où cette différence de vitesse, et par conséquent la réaction serait moindre, c'est-à-dire du côté où un autre courant électrique pousserait le fluide de l'espace dans le même sens, soit du côté opposé à celui où elle serait plus grande parce qu'il s'y trouverait un autre courant électrique tendant à pousser le même fluide en sens contraire, suivant que les deux courans qui agiraient aussi l'un sur l'autre, seraient dirigés dans le même sens ou auraient des directions opposées.

Ces considérations conduisent à admettre l'attraction entre les courans qui vont dans le même sens et la répulsion entre ceux qui sont dirigés en sens contraire, conformément aux résultats de l'expérience; mais je ne me suis jamais dissimulé que, faute de moyen pour calculer tous les effets des mouvemens des fluides, elles étaient trop vagues pour servir de base à une loi dont l'exactitude pouvait être constatée par des expériences directes et précises. C'est pourquoi je me bornai à la présenter comme un fait uniquement fondé sur l'observation, et ne m'occupai que de la construction d'un appareil

à l'aide duquel elle pût être vérifiée par des mesures tellement exactes, qu'il ne restât aucun doute à cet égard. Cet appareil, que j'ai fait graver dans le temps, et qu'on voit ici représenté (pl. 6, fig. 16), était destiné à comparer, avec toute l'exactitude possible, l'action sur un conducteur mobile de deux conducteurs fixes, dont l'un fût rectiligne et l'autre formât une ligne sinueuse telle, que chacune de ses portions infiniment petites étant considérée comme la diagonale d'un parallélogramme, l'un des côtés de ce parallélogramme fût égal et parallèle à la petite portion correspondante du conducteur rectiligne fixe, et que son autre côté ne pût exercer aucune sorte d'action sur le conducteur mobile. Le meilleur moyen de satisfaire à cette dernière condition étant de faire en sorte que les petits côtés des parallélogrammes dont les courans devaient être sans action sur le conducteur mobile fussent partout perpendiculaires aux plans menés par leurs milieux et par ce conducteur, je disposai l'appareil de manière que cette condition fût remplie. Dès qu'il fut construit, il me servit à faire des expériences qui confirmèrent complètement la loi que je m'étais proposé de vérifier, et je communiquai ces expériences à l'Académie, avec une courte description de l'appareil, dans la séance du 26 décembre (*). Cette description se trouve presque en entier dans la notice insérée dans le tome V des Annales des Mines, et qui fait partie de ce recueil, où la description dont il s'agit est transcrite pages 89 et 90; mais je crois nécessaire d'en donner ici une nouvelle plus détaillée et plus complète.

Les deux règles verticales en bois, PQ, RS, portent, dans des rainures pratiquées sur celles de leurs faces qui se trouvent en regard, la première un fil rectiligne *bc*, la seconde un fil *kl* formant dans

(*) Voyez le *Moniteur* du 31 décembre 1820.

toute sa longueur et dans un plan perpendiculaire au plan qui joindrait les deux axes des règles, des contours et des replis tels que ceux qu'on voit dans la figure le long de la règle RS, de manière que ce fil ne s'éloigne, en aucun de ses points, que très peu du milieu de la rainure.

Ces deux fils sont destinés à servir de conducteurs à deux portions d'un même courant, que l'on fait agir par répulsion sur la partie GH d'un conducteur mobile composé de deux circuits rectangulaires presque fermés et égaux BCDE, FGHI, qui sont parcourus en sens contraire par le courant électrique, afin que les actions que la terre exerce sur ces deux circuits se détruisent mutuellement. Aux deux extrémités de ce conducteur mobile sont deux pointes A et K qui plongent dans les coupes M et N pleines de mercure, et soudées aux extrémités des deux branches de cuivre *g*M, *h*N. Ces branches sont en communication par les boîtes de cuivre *g* et *h*, la première avec un fil de cuivre *gfe* plié en hélice autour du tube de verre *hgf*, l'autre avec un fil rectiligne *hi* qui passe dans l'intérieur du même tube, et se termine dans l'auge *ki* creusée dans une pièce de bois *vw* qu'on fixe à la hauteur que l'on veut contre le montant *z* avec la vis de pression *o*. D'après l'expérience dont j'ai parlé plus haut, cette portion du circuit composée de l'hélice *gf* et du fil rectiligne *hi*, ne peut exercer aucune action sur le conducteur mobile. Pour que le courant électrique passe dans les conducteurs fixes *bc* et *kl*, les fils dont ces conducteurs sont formés se prolongent en *cde*, *lmn*, dans deux tubes de verre (*)

(*) L'usage de ces tubes est d'empêcher la flexion des fils qui y sont renfermés, en les maintenant à des distances égales des deux conducteurs *bc*, *kl*, afin que leurs actions sur *GH* qui diminuent celle de ces deux conducteurs, les diminuent également.

attachés à la traverse *xy*, et viennent se terminer le premier dans la coupe *e*, et le second dans la coupe *n*. Tout étant ainsi disposé, on met du mercure dans toutes les coupes et dans les deux auges *ba*, *ki*, et l'on plonge le fil positif *pa* dans l'auge *ba* qui est aussi creusée dans la pièce de bois *vw*, et le fil négatif *qn* dans la coupe *n*. Le courant parcourt tous les conducteurs de l'appareil dans l'ordre suivant *pabcdefg*MABCDEFGHIKN*hiklmnq*, d'où il résulte qu'il est ascendant dans les deux conducteurs fixes et descendant dans la partie GH du conducteur mobile qui est soumise à leur action, et qui se trouve au milieu de l'intervalle des deux conducteurs fixes dans le plan qui passe par leurs axes. Cette partie GH est donc repoussée par *bc* et *kl*, d'où il suit que si l'action de ces deux conducteurs est la même à égales distances, GH doit s'arrêter au milieu de l'intervalle qui les sépare ; c'est ce qui arrive en effet.

Il est bon de remarquer, 1°. que les deux axes des conducteurs fixes étant à égale distance de GH, on ne peut pas dire rigoureusement que la distance est la même pour tous les points du conducteur *kl*, à cause des contours et des replis que forme ce conducteur ; mais comme ces contours et ces replis sont dans un plan perpendiculaire au plan qui passe par GH et par les axes des conducteurs fixes, il est évident que la différence de distance qui en résulte est la plus petite possible, et d'autant moindre que la moitié de la largeur de la rainure RS, que cette moitié est moindre que l'intervalle des deux règles, puisque cette différence, dans le cas où elle est la plus grande possible, est égale à celle qui se trouve entre le rayon et la sécante d'un arc dont la tangente est égale à la moitié de la largeur de la rainure, et qui appartient à un cercle dont le diamètre est l'intervalle des deux règles ; 2°. que si l'on décompose

chaque portion infiniment petite du conducteur *kl*, comme on décomposerait une force en deux autres petites portions qui en soient les projections, l'une sur l'axe vertical de ce conducteur, l'autre sur des lignes horizontales menées par tous ses points dans le plan où se trouvent les replis et les coutours qu'il forme, la somme des premières, en prenant négativement celles qui ayant une direction opposée à la direction des autres doivent produire une action en sens contraire, sera égale à la longueur de cet axe, en sorte que l'action totale résultant de toutes ces projections sera la même que celle d'un conducteur rectiligne égal à l'axe, c'est-à-dire à celle du conducteur *bc* situé à la même distance de GH; tandis que l'action des secondes sera nulle sur le même conducteur mobile GH, puisque les plans élevés perpendiculairement sur le milieu de chacune d'elles, passeront sensiblement par la direction de GH. La réunion de ces deux séries de projection produit donc nécessairement sur GH une action égale à celle de *bc*; et comme l'expérience prouve que le conducteur sineux *kl* produit aussi une action égale à celle de *bc*, quels que soient les replis et le contours qu'il forme, il s'ensuit qu'il agit, dans tous les cas, comme la réunion des deux séries de projections, ce qui ne peut avoir lieu ainsi, indépendamment de la manière dont il est plié et contourné, à moins que chacune des parties de ce conducteur n'agisse séparément comme la réunion de ses deux projections.

Pour que cette expérience ait toute l'exactitude désirable, il est nécessaire que les deux règles soient exactement verticales, et qu'elles soient précisément à la même distance du conducteur mobile. Pour remplir ces conditions, on adapte une division $\alpha\beta$ à la traverse xy, et l'on y fixe les règles avec deux crampons η et θ,

et deux vis de pression λ, μ, ce qui permet de les écarter ou de les rapprocher à volonté, en les maintenant toujours à égale distance de $\gamma\delta$ milieu de la division. L'appareil est construit de manière que les deux règles sont perpendiculaires à la traverse xy, et on rend celle-ci horizontale à l'aide des vis que l'on voit aux quatre coins du pied de l'instrument et du fil à plomb YX qui répond exactement au point Z, déterminé convenablement sur ce pied, quand la tranverse xy est parfaitement de niveau.

Pour rendre le conducteur ABCDEFGHIK mobile autour d'une ligne verticale située à égales distances des deux conducteurs *bc*, *kl*, ce conducteur est suspendu à un fil métallique très fin attaché au centre d'un bouton T, qui peut tourner sur lui-même sans changer de distance à ces deux conducteurs; ce bouton est au centre d'un petit cadran O sur lequel l'indice L sert à marquer l'endroit où il faut l'arrêter pour que la partie GH du conducteur mobile réponde, sans que le fil soit tordu, au milieu de l'intervalle des deux conducteurs fixes *bc*, *kl*, afin de pouvoir remettre immédiatement l'aiguille dans la direction où il faut qu'elle soit pour cela, toutes les fois qu'on veut répéter l'expérience. On reconnaît que GH est en effet à égale distance de *bc* et de *kl*, au moyen d'un autre fil à plomb $\psi\omega$ attaché à une branche de cuivre $\varphi\chi\psi$ portée comme le cadran O par le support UVO, dans lequel cette branche $\varphi\chi\psi$ peut tourner autour de l'axe du bouton φ qui la termine, ce qui donne la facilité de faire répondre la pointe de l'aplomb ω sur la ligne $\gamma\delta$ milieu de la divison $\alpha\beta$. Quand le conducteur mobile est dans la position convenable, les trois verticales $\psi\omega$, GH et CD se trouvent dans le même plan, et l'on s'en assure aisément en plaçant l'œil dans ce plan en avant de $\psi\omega$.

Le conducteur mobile se trouve ainsi placé d'avance dans la situation où il doit y avoir équilibre entre les répulsions des deux conducteurs fixes, si ces répulsions sont exactement égales : on les produit alors en plongeant dans le mercure de l'auge *ba* et de la coupe *n* les fils *ap*, *nq*, qui communiquent avec les deux extrémités de la pile, et l'on voit le conducteur GH rester dans cette situation malgré la grande mobilité de ce genre de suspension, tandis que si l'on déplace même très peu l'indice L, ce qui amène GH dans une situation où il n'est plus à égales distances des conducteurs fixes *bc*, *kl*, on le voit se mouvoir à l'instant où l'on établit les communications avec la pile, en s'éloignant de celui de ces conducteurs dont il se trouve le plus près. C'est ainsi que j'ai constaté dans le temps où j'ai fait construire cet instrument, l'égalité des actions des deux conducteurs fixes, par des expériences répétées plusieurs fois avec toutes les précautions nécessaires pour qu'il ne pût rester aucun doute sur leur résultat.

On voit dans la figure une tige verticale *rts* divisée en parties égales, et portant une petite potence mobile *tu* armée d'un crochet *u*. Cette partie de l'appareil, entièrement indépendante de l'expérience précédente, m'a servi à la même époque à suspendre avec un fil de métal très fin, une aiguille aimantée pour observer sur cette aiguille l'action d'un conducteur que je plaçais au-dessous du crochet *u* sur le pied de l'appareil. Par cette disposition, je pouvais compter les oscillations qu'un courant élecrique détermine dans un petit aimant placé à différentes distances au-dessus de ce courant.

Je me proposais de m'en servir à faire des expériences dont les résultats pussent être comparés à ceux du calcul relativement à la durée des oscillations que ferait le petit aimant à différentes distances du con-

ducteur voltaïque, en le considérant, dans ce calcul, comme un assemblage de courans électriques situés dans des plans perpendiculaires à son axe, afin de déduire de cette comparaison la loi suivant laquelle l'action mutuelle de deux portions infiniment petites de courans électriques dépend de leur distance.

J'avais, à la vérité, admis, dès mes premières recherches sur l'action, tantôt attractive, tantôt répulpulsive, que j'avais observée le premier entre deux conducteurs voltaïques, que cette action doit, entre deux portions infiniment petites, être en raison inverse du carré de leur distance. Mais j'avais établi cette loi non d'après des expériences précises comme celle qui exprime comment la même action dépend des angles qui en déterminent la valeur, mais d'après des analogies que je jugeais suffisantes pour rendre au moins très probable qu'elle est en effet en raison inverse du carré de la distance. Quelle que fût la force de ces analogies, je pensais que c'est à l'expérience seule à décider les questions de ce genre, et puisqu'elle m'avait suffi pour établir la partie de ma formule qui dépendait des angles, je ne devais pas désespérer de déterminer de la même manière la loi d'après laquelle la distance doit entrer dans cette formule. Je ne fis cependant pas les expériences pour lesquelles j'avais ajouté à mon appareil le support *rstu*, d'abord parce que je fus prévenu dans cette recherche par MM. Biot et Savart, qui en firent d'analogues avec un instrument disposé de manière à donner des résultats plus exacts que celui que j'avais imaginé; et ensuite parce que j'aurais désiré faire directement ces expériences sur l'action mutuelle de deux conducteurs, en faisant agir un fil conducteur, non sur un aimant, mais sur une portion mobile du même circuit voltaïque.

Des expériences précises sur le nombre des oscillations que fait un conducteur mobile lorsqu'il est soumis à l'action d'un conducteur fixe faisant partie du même circuit voltaïque, présentent de nombreuses difficultés. Il faut, pour en comparer les résultats à ceux de la formule qu'on se proposerait de vérifier, calculer d'après cette formule le rapport des durées des oscillations, en attribuant aux deux conducteurs des formes déterminées; ce qui ne peut se faire que par approximation lorsqu'il s'agit de la mienne, puisque l'on tombe sur des intégrations par quadrature qui ne peuvent être obtenues sous forme finie. Il faut ensuite donner exactement à ces conducteurs les formes qu'on leur a supposées dans le calcul, et soustraire le conducteur mobile tant à l'action du globe terrestre, qu'à celle des autres parties du circuit nécessaires pour le mettre, ainsi que le conducteur fixe, en communication avec les deux extrémités de la pile. Il faut enfin pouvoir faire l'expérience à différentes distances entre les deux conducteurs.

J'ai pensé qu'un des cas où l'on peut calculer plus facilement la valeur que doit avoir l'action mutuelle de deux conducteurs, d'après la formule par laquelle j'ai exprimé celle de deux de leurs élémens, est celui où ces deux conducteurs sont des demi-circonférences de même rayon. Cette forme est d'ailleurs celle qu'il convient de choisir comme facile à exécuter avec une grande précision, en coupant, au tour, les conducteurs de cette forme dans un cercle de cuivre, et parce qu'il est aisé de soustraire un conducteur mobile circulaire à l'action de la terre, en établissant ses communications avec le reste du circuit aux deux points où il est rencontré par le diamètre vertical autour duquel il doit tourner; car alors le courant électrique se partage également entre ses deux branches, et les deux actions que la

globe exerce sur ces branches étant égales et opposées, celle qui en résulte sur le conducteur entier est nulle dans toutes les positions que son mouvement autour de ce diamètre lui permet de prendre.

A l'égard des parties du circuit par lesquelles on met l'appareil en communication avec la pile, le meilleur moyen d'empêcher qu'elles n'agissent sur le conducteur mobile consiste à se servir de deux lames de cuivre revêtues de soie, qu'on applique l'une sur l'autre de manière qu'elles ne soient séparées que par l'épaisseur de cette soie, et qu'on fait communiquer d'un côté à l'appareil, et de l'autre à la pile; alors elle sont parcourues en sens contraire par le courant électrique; les points correspondans de ces deux lames exercent par conséquent des actions égales sur le conducteur mobile, l'un pour l'attirer, et l'autre pour le repousser, en sorte que ces deux actions se neutralisent complètement.

Voici maintenant une description abrégée de l'appareil que j'ai fait construire pour remplir ces conditions.

Les deux points A et B (pl. 10, fig. 4) situés sur une même verticale sont les extrémités du diamètre commun aux deux demi-cercles fixes ADB, AEB, et un cercle mobile A*c*B*c*'. Ce dernier peut être suspendu de deux manières : ou par une pointe qui y serait adaptée en A et reposerait en T dans une capsule en cuivre *gh* soutenue par deux tiges de verre P et Q; ou par un fil de soie extrêmement délié A*v* attaché en *v* à une tige métallique *lmnv*. Ce dernier genre de suspension est de beaucoup préférable au premier, dans lequel il s'exerce toujours un certain frottement en T, même quand on fait reposer la pointe sur une plaque d'agate, ou sur une autre pierre encore plus dure. Il est vrai que la torsion du fil A*v* influe sur les oscillations produites par les

courans électriques ; mais on peut apprécier la force de torsion du fil en faisant osciller le cercle A*c*B*c'* dégagé de toute influence électrique, et comptant le nombre d'oscillations qu'il fait dans un temps donné ; l'on en déduira ensuite par un calcul fort simple de combien cette cause doit altérer les résultats de l'action électrique.

Quant aux deux demi-cercles fixes, ils sont terminés chacun par deux petites tiges verticales qui reposent, l'une dans la capsule supérieure *gh*, l'autre dans l'inférieure *tu* : elles y sont fixées par des rainures qu'on y a pratiquées, comme on peut le voir sur les figures 5 et 6 qui représentent les projections horizontales de ces capsules. Les rainures *pq* (fig. 5) de la première doivent être toutes dirigées vers le centre T, et correspondre verticalement aux rainures *rs* (fig. 6) de la seconde. Par ce moyen, on peut déplacer chacun des deux demi-cercles, et faire l'expérience sous des angles quelconques que l'on mesurera au moyen du demi-cercle gradué VWU.

Il faut remarquer que la capsule inférieure n'est autre chose que l'espace compris entre deux parois cylindriques verticales *a*, *b*, auxquelles viennent se terminer les rainures *rs*. On la met en communication avec la pile au moyen de la lame de cuivre IK, qui est recouverte de soie depuis le point I jusqu'au point K où elle est terminée par la capsule X.

Le cercle mobile communique par une pointe B*o* à la capsule *o*, qui termine un cylindre *o*S, soudé en H à une lame de cuivre recouverte de soie, et terminée en L par la capsule Y.

Cela posé, lorsqu'on voudra soumettre cet appareil à l'action de la pile, on remplira de mercure toutes les capsules dans lesquelles se terminent les diverses parties du circuit voltaïque ; et l'on plongera le rhéophore positif, par exemple, dans la cap-

sule X, et l'autre dans la capsule Y; ces rhéophores doivent être revêtus de soie et tordus ensemble sur la plus grande partie de leur longueur, pour neutraliser leur action sur le conducteur mobile. Le courant électrique partant de K se rendra d'abord dans la couronne cylindrique *ab*, puis montera le long des deux demi-cercles BDA, BEA, traversera le mercure contenu dans la capsule *gh*, remontera par la pointe TA, et redescendra des deux côtés A*c*B, A*c'*B du cercle mobile; il repassera de là dans la capsule *o*, et se rendra en L le long du cylindre *o*S et de la lame HL.

On voit qu'alors le courant sera ascendant dans les deux demi-cercles fixes, et descendant dans le cercle mobile : celui-ci sera donc repoussé par les deux autres, et se mettra en mouvement s'il n'est pas à égale distance de chacun d'eux. On voit aussi que le courant descendant qui a lieu semblablement dans les deux parties A*c*B, A*c'*B rend nulle l'action du globe terrestre sur le cercle entier.

On a placé en M et N deux vis au moyen desquelles on peut rendre horizontal le pied LL'L" de l'instrument. Cela est important en ce que si cette condition n'était pas remplie, le cercle mobile n'aurait plus un diamètre commun avec les deux demi-cercles fixes, et ne serait plus à égale distance de chacun d'eux : de plus, la pointe *o* pourrait s'appuyer contre la paroi inférieure de la capsule, de manière que la ligne de suspension ne serait plus verticale.

Les deux lames IK, HL ne pouvant être soudées au pied de l'instrument, puisqu'elles doivent rester isolées l'une de l'autre au moyen de la soie qui les enveloppe, y sont fixées au moyen d'une vis de pression Z que l'on peut serrer à volonté.

Tel est l'instrument que j'avais imaginé, tant pour vérifier la formule par laquelle j'ai exprimé l'action

mutuelle de deux élémens de courans électriques, que pour déterminer les deux constantes que cette formule renferme.

On peut aussi employer cet instrument à mesurer l'action qu'un aimant exerce à diverses distances sur le conducteur circulaire A*c*B*c'*. Pour cela, on supprimera les deux demi-cercles ADB, AEB; on enlèvera la traverse GF (fig. 4) et on la remplacera par la traverse toute semblable GF (fig. 7) que l'on fera communiquer avec la capsule inférieure *tu* (fig. 4), au moyen d'une tige *cd* (fig. 7) terminée par deux branches *de*, *df* qui entreront dans les deux rainures *e*, *f* (fig. 6) diamétralement opposées. On fixera ensuite un aimant à différentes distances, et on comptera les oscillations qu'il fera faire au cercle A*c*B*c'* (fig. 4) quand on l'écartera du plan dans lequel il est en équilibre sous l'influence de l'aimant.

Il est inutile de faire observer que pour que la tige *cd* (fig. 7) n'exerce aucune action sur le cercle mobile, il est nécessaire qu'elle soit située dans l'axe autour duquel il tend à tourner.

Je vais maintenant exposer les considérations au moyen desquelles je suis parvenu à la formule qui exprime l'attraction mutuelle de deux portions infiniment petites de courans électriques. Il est d'abord évident que l'action mutuelle de deux portions infiniment petites de courans électriques est proportionnelle à leur longueur; car toutes les attractions de leurs divers élémens pouvant être considérées comme dirigées suivant une même droite, s'ajoutent nécessairement. Cette même action doit encore être proportionnelle aux intensités des deux courans. Pour exprimer en nombre l'intensité d'un courant quelconque, on concevra qu'on ait choisi un autre courant arbitraire pour terme de comparai-

son, qu'on ait pris deux élémens égaux dans chacun d'eux, qu'on ait cherché le rapport des attractions qu'ils exercent à l'unité de distance sur un même élément de tout autre courant dans la situation où il leur est parallèle, et où sa direction est perpendiculaire aux droites qui joignent son milieu avec les milieux de deux autres élémens. Ce rapport sera la mesure d'une des intensités en prenant l'autre pour unité.

Désignant donc par i et i' les rapports des intensités des deux courans donnés à l'intensité du courant pris pour unité, et par ds, ds' les petites portions que l'on considère dans chacun d'eux; leur attraction mutuelle, quand ils seront perpendiculaires à la ligne qui joint leurs milieux, parallèles entre eux et situés à l'unité de distance l'un de l'autre, sera exprimée par $ii'dsds'$; ce qui se réduira à $dsds'$ quand on considérera deux élémens du courant pris pour unité, parce que les nombres i, i' deviennent alors égaux à 1.

Si l'on veut maintenant rapporter la force attractive de ces courans à la pesanteur, on prendra pour unité de force le poids de l'unité de volume d'une matière convenue. Mais alors le courant pris pour unité ne sera plus arbitraire; il devra être tel, que l'attraction entre deux de ses parties situées comme nous venons de le dire, puisse soutenir un poids qui soit à l'unité de poids comme $dsds'$ est à 1. Ce courant une fois déterminé, le produit $ii'dsds'$ désignera le rapport de l'attraction de deux élémens d'intensités quelconques toujours dans la même situation, au poids qu'on aura choisi pour unité de force.

Cela posé, que l'on considère deux élémens placés d'une manière quelconque; leur action mutuelle dépendra de leurs longueurs, des intensités des courans dont ils font partie, et de leur position relative. Cette position peut se déterminer au moyen de la longueur r de la droite qui joint leurs milieux, des

angles α et β que font avec un même prolongement de cette droite les directions des deux élémens pris dans le sens de leurs courans respectifs, et enfin de l'angle γ que font entre eux les plans menés par chacune de ces directions et par la droite qui joint les milieux des élémens.

La considération des diverses attractions observées dans la nature me portait à croire que celle dont je cherchais l'expression, agissait de même en raison inverse du carré de la distance; je la supposai pour plus de généralité en raison inverse de la puissance $n^{ième}$ de cette distance, n étant une constante à déterminer. Alors en représentant par ρ la fonction inconnue des angles α, β, γ, j'eus $\frac{\rho ii'dsds'}{r^n}$ pour l'expression générale de l'action de deux élémens ds, ds' de deux courans ayant pour intensités i et i'. Il me restait à déterminer la fonction ρ, je considérai d'abord pour cela deux élémens ad, $a'd'$ (pl. 6, fig. 18) parallèles entre eux, perpendiculaires à la droite qui joint leurs milieux, et situés à une distance quelconque r l'un de l'autre; leur action étant exprimée d'après ce qui précède par $\frac{ii'dsds'}{r^n}$. Si nous concevons que ad reste fixe, et que $a'd'$ se meuve parallèlement à lui-même, de manière que son milieu soit toujours à la même distance de celui de ad; γ restant nul, la valeur de leur action mutuelle dépendra des angles désignés ci-dessus par α, β, qui seront alors égaux ou supplémens l'un de l'autre, selon que les courans seront dirigés dans le même sens ou en sens opposés: on aura donc pour cette valeur $\frac{ii'dsds'\varphi(\alpha,\beta)}{r^n}$.
Nommons k la constante positive ou négative à laquelle se réduit $\varphi(\alpha,\beta)$ quand l'élément $a'd'$ est en $a'''d'''$ dans le prolongement de ad, et dirigé dans le

même sens, l'action de ad sur $a'''b'''$ sera alors exprimée par $\frac{kii'dsds'}{r^n}$, ce qui montre que la constante k représente le rapport de cette action à celle de ab sur $a'b'$, rapport indépendant de la distance r, des intensités i, i' et des longueurs ds, ds' des deux élémens que l'on considère.

Ces valeurs de l'action électro-dynamique, dans les deux cas les plus simples, suffisent pour trouver la forme générale de la fonction ρ, en partant de l'expérience qui montre que l'attraction d'un élément rectiligne infiniment petit est la même que celle d'un autre élément sinueux quelconque, terminé aux deux extrémités du premier, et de ce que j'ai établi pages 210 et suivantes, savoir : qu'une portion infiniment petite de courant électrique n'exerce aucune action sur une autre portion infiniment petite d'un courant situé dans un plan qui passe par son milieu, et qui est perpendiculaire à sa direction. En effet, prenons d'abord le cas où les deux élémens sont situés dans des plans différens, et perpendiculaires sur la ligne AB (pl. 6, fig. 21) qui joint leurs milieux. Soit AG, la moitié d'un des deux élémens, et AH celle de l'autre, nous pourrons, dans le calcul, prendre ces moitiés au lieu des élémens mêmes ds, ds'. Menons par AB deux plans rectangulaires ACDB (*), AEFB, élevons dans ces plans les lignes AC, AE, BD, BF, perpendiculaires sur AB; et désignons l'angle GAE par ζ, l'angle HBF par η, et AB par r. Si maintenant on forme les deux rectangles GMAN, HPBQ, on pourra remplacer respectivement les élémens rectilignes AG, BH, par les élémens sinueux AMG, BPH. Or MG produira le même effet que AN, puisqu'ils sont égaux, parallèles, et à une distance infiniment

(*) Le graveur a mis, par erreur, dans la figure, la lettre F au lieu de la lettre D qui devait être à l'un des angles de ce plan.

petite l'un de l'autre : semblablement PH pourra être remplacé par BQ ; de sorte que l'action de AG sur BH sera la somme des actions de AM sur BP et BQ, et de AN sur BP et BQ, puisque ces quatre actions sont dirigées suivant AB. Mais, d'après le résultat que je viens de rappeler, l'action de AM sur BQ est nulle ainsi que celle de AN sur PB ; tout se réduit donc à l'action de AM sur BP et de AN sur BQ.

Or, on a

$$\text{AM} = ds \sin\zeta, \ \text{AN} = ds \cos\zeta,$$
$$\text{BP} = ds' \sin\eta, \ \text{BQ} = ds' \cos\eta.$$

L'action mutuelle de AM sur BP sera donc représentée d'après les formules précédentes par $\frac{ii'dsds' \sin\zeta \sin\eta}{r^n}$, et celle de AN sur BQ par $\frac{ii'dsds' \cos\zeta \cos\eta}{r^n}$. Faisant la somme de ces deux expressions, on aura pour celle de l'action des deux élémens AG, BH,

$$\frac{ii'dsds'}{r^n} (\cos\zeta \cos\eta + \sin\zeta \sin\eta), \text{ ou}$$

$$\frac{ii'dsds'}{r^n} \cos(\zeta - \eta), \text{ ou enfin } \frac{ii'dsds' \cos\gamma}{r^n},$$

γ désignant toujours l'angle des plans GAB, ABH.

Supposons maintenant le cas général de deux élémens AG, BH (*pl.* 6, *fig.* 22) faisant avec AB les angles GAB $= \alpha$, HBQ $= \beta$; faisons passer par GA et AB le plan CABD, et par AB et BH le plan AEFB ; désignons toujours l'angle qu'ils forment par γ ; menons AC et BP perpendiculaires sur AB dans chacun de ces plans, et construisons les rectangles GMAN, BPHQ. On pourra remplacer AG par AM + AN, et BH par BP + BQ ; et observant, comme dans le cas précédent, que l'action de AM sur BQ est nulle ainsi que celle de AN sur BP, on voit que tout se

réduit à l'action mutuelle de AM et BP, et à celle de AN et BQ. Or, on a

$$AN = ds \cos \alpha, \quad AM = ds \sin \alpha,$$
$$BQ = ds' \cos \beta, \quad BP = ds' \sin \beta.$$

L'action de AM et BP sera donc, d'après le théorème précédent, $\frac{ii'dsds' \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma}{r^n}$, et celle de AN et BQ sera représentée par $\frac{kii'dsds' \cos \alpha \cos \beta}{r^n}$, de sorte que l'action mutuelle des deux élémens AG, BH aura pour expression $\frac{ii'dsds' (\sin \alpha \sin \beta \cos \gamma + k \cos \alpha \cos \beta)}{r^n}$. Cette formule n'a été obtenue que par la considération d'un contour sinueux composé seulement de deux lignes droites. Mais il est facile de s'assurer que quelles que soient les constantes k et n, elle convient au cas où le contour serait une portion quelconque de polygone, et par suite un arc quelconque de courbe.

Soient en effet ds_1, ds_2, ...ds_m les côtés d'un contour polygonal infiniment petit terminé aux deux extrémités de l'élément ds : désignons par α_1, α_2, ...α_m les angles qu'ils font avec AB, et par γ_1, γ_2, ...γ_m les angles que les plans, menés respectivement par AB et chacun de ces côtés, font avec le plan ABF.

La projection de ds sur une droite quelconque devant être égale à la somme des projections des côtés ds_1, ds_2, ...ds_m sur la même droite; on trouvera d'abord en prenant ces projections sur AB,

$$ds_1 \cos \alpha_1 + ds_2 \cos \alpha_2 \ldots + ds_m \cos \alpha_m = ds \cos \alpha.$$

Faisons maintenant la projection des mêmes lignes sur AE (*fig.* 22) perpendiculaire à AB dans le plan ABFE, qui passe par l'élément BH; la projection de l'élément AG sera déterminée par la perpendicu-

laire abaissée du point G sur AE, et aura pour expression *ds* cos GAE. Mais en considérant l'angle trièdre formé par les trois arêtes AC, AG, AE, et dont l'angle dièdre relatif à l'arête AC est droit, on aura, par un théorème connu de trigonométrie sphérique,

$$\cos \text{GAE} = \cos \text{CAG} \cos \text{CAE} = \sin \alpha \cos \gamma;$$

et la projection de AG sera exprimée par $ds \sin \alpha \cos \gamma$. De même les projections des élémens $ds_1, ds_2, \ldots ds_m$ auront pour expressions respectives

$$ds_1 \sin \alpha_1 \cos \gamma_1, ds_2 \sin \alpha_2 \cos \gamma_2 \ldots - ds_m \sin \alpha_m \cos \gamma_m,$$

et par conséquent on aura la seconde équation

$$ds_1 \sin \alpha_1 \cos \gamma_1 + ds_2 \sin \alpha_2 \cos \gamma_2 \ldots + ds_m \sin \alpha_m \cos \gamma_m = ds \sin \alpha \cos \gamma.$$

Mais d'après la formule trouvée précédemment, l'action de ds_1 sur ds' sera exprimée par

$$\frac{ds_1 ds'}{r^n} (\sin \alpha_1 \sin \beta \cos \gamma_1 + k \cos \alpha_1 \cos \beta);$$

celle de ds_2 sur ds' le sera par

$$\frac{ds_2 ds'}{r^n} (\sin \alpha_2 \sin \beta \cos \gamma_2 + k \cos \alpha_2 \cos \beta),$$

et ainsi des autres. Faisant la somme de toutes ces actions, puisque tous ces côtés étant infiniment près du point A, les actions qu'ils exercent sur BH doivent être toutes considérées comme dirigées suivant AB, et réduisant d'après les deux équations que nous venons de poser, on trouvera

$$\frac{ii' ds ds'}{r^n} (\sin \alpha \sin \beta \cos \gamma + k \cos \alpha \cos \beta),$$

ce qui est précisément l'expression de l'attraction mutuelle des deux élémens *ds*, *ds'*.

Il évident que le même raisonnement s'applique au cas où l'on remplace aussi BH par un contour polygonal quelconque. Il est donc démontré que quelles que soient les constantes n et k, la formule que nous avons trouvée en partant de la supposition qu'un élément rectiligne infiniment petit pouvait être remplacé par un contour composé de deux autres élémens rectilignes, exprime que le même élément peut être remplacé par tout autre contour polygonal ou curviligne terminé aux deux mêmes points. C'est ce qu'il était important de vérifier afin de savoir si la formule obtenue par une seule considération tirée de l'expérience que nous avons citée convenait à toutes les circonstances que cette même expérience peut présenter.

Il restait encore à déterminert les deux constantes n et k. Or, l'expérience précédente ne pouvait y contribuer en rien, précisément parce que la formule était d'accord avec elle, quelles que fussent ces constantes. Il fallait pour cela avoir recours à d'autres expériences que je me proposais de faire avec l'instrument dont on vient de lire la description; mais comme j'allais m'occuper de cette recherche, je découvris un nouveau cas d'équilibre qui me fournit entre n et k la relation $2k+n=1$: on verra dans le mémoire inséré dans ce recueil, page 293 et suivantes, en quoi consiste l'expérience qui m'a conduit à cette relation, et quels sont les calculs par lesquels j'y suis arrivé.

L'analogie entre les diverses attractions qui ont été observées dans la nature me portant à supposer $n=2$, l'équation que je venais de trouver entre n et k me donna $k=-\frac{1}{2}$; ce qui prouvait que l'attraction de deux élémens de courans dirigés dans le même sens et en ligne droite était négative, et que par conséquent il y avait alors répulsion. C'est ce que je vérifiai par l'expérience. Il ne me resta plus alors presque

aucun doute que telles ne fussent en effet les valeurs de n et de k, et je négligeai de faire des expériences pour résoudre une question dont j'attendais d'ailleurs une solution complète du travail que venait d'entreprendre M. Savary, sur l'application de ma formule au calcul des phénomènes électro-dynamiques.

(2) Dès que j'eus connaissance, à la fin d'octobre 1821, du mémoire où M. Faraday avait publié, peu de temps auparavant, son importante découverte du mouvement continu de rotation d'un conducteur voltaïque autour d'un aimant, et d'un aimant autour d'un conducteur, et où il avait annoncé qu'il n'avait pu faire tourner, par l'action de ce dernier, un aimant autour de son axe, je cherchai à produire cette sorte de mouvement en faisant agir des aimans disposés de toutes les manières que je pus imaginer, sur les conducteurs mobiles dont je m'étais servi jusqu'alors dans toutes mes expériences, et dont les deux extrémités se trouvaient dans l'axe de rotation, je parvins bientôt à ce résultat général, que tant que cette circonstance a lieu dans un conducteur dont toutes les parties sont liées invariablement entre elles, le mouvement continu de rotation est impossible, et il me fut facile d'en conclure qu'il l'est également par l'action mutuelle d'un aimant et d'un circuit fermé de forme invariable, puisqu'un tel circuit peut toujours être considéré comme la réunion de deux portions de conducteur dont les extrémités sont dans un même axe de rotation pris à volonté. L'ensemble de la pile et des fils conducteurs formant toujours un circuit complètement fermé, j'en déduisis l'égalité des actions que deux parties quelconque de cet ensemble exercent en sens contraires, soit pour faire tourner un aimant mobile, soit pour tourner elles-mêmes autour d'un aimant fixe; égalité qui est un des prin-

cipes les plus utiles pour l'explication des phénomènes. Je tirai aussi de ces considérations les trois conséquences suivantes : 1° le mouvement continu d'un conducteur mobile dont l'extrémité supérieure se trouve dans l'axe de rotation, ne peut avoir lieu que quand son extrémité inférieure parcourt une circonférence autour de cet axe dans un liquide conducteur. M. Faraday l'avait obtenu en se servant du mercure; j'y substituai avec avantage de l'eau acidulée; 2° le conducteur liquide doit, par l'action du même aimant, tendre à tourner en sens contraire, conformément à ce que venait d'observer sir H. Davy; 3° on ne réussit à faire tourner un aimant autour de son axe par l'action d'un circuit voltaïque que quand on fait passer une portion de ce circuit au travers de l'aimant, parce qu'alors l'action de cette portion n'ayant plus lieu, le reste du circuit, qui exerce sur lui une action égale en sens contraire, lui imprime le mouvement désiré.

Toutes ces conséquences furent vérifiées par les nombreuses expériences que je fis aux mois de novembre et de décembre 1821, et que je communiquais, à mesure qu'elles réussissaient, à l'Académie des Sciences. Elles sont décrites dans l'article suivant qui parut peu de temps après dans les *Annales de Chimie et de Physique*, tome XX, pages 60-74. Enfin les mêmes considérations me conduisirent à faire l'expérience d'où je conclus la relation $2k+n=1$, je n'eus pour cela qu'à remplacer les aimans que je faisais agir sur mon conducteur mobile, par le conducteur spiral représenté pl. 8, fig. 2.

Expériences *relatives aux nouveaux phénomènes électro-dynamiques* (1) *que j'ai obtenus au mois de décembre* 1821. (2)

Pour produire un mouvement continu de révolution dans un conducteur voltaïque par l'action d'un autre conducteur, de la terre ou d'un aimant, je me sers à présent d'un appareil qui diffère surtout de celui que j'ai décrit dans les *Annales*, tom. xviii, pag. 331 et suivantes, en ce qu'il est mis en action par une pile de Volta, dont on peut augmenter l'énergie à volonté en augmentant le nombre et l'étendue des plaques. Cet appa-

(1) J'ai dit plus haut, dans la note qui est au bas de la page 200, pourquoi le nom d'*électro-magnétiques* ne pouvait plus être donné aux phénomènes d'attraction et de répulsion produits par les fils conducteurs de la pile de Volta, et les motifs qui me portaient à remplacer cette dénomination par celle d'*électro-dynamiques*, qui exprime leur caractère propre, celui d'être produits par l'électricité en mouvement. Soit que l'on considère ce mouvement comme continu, ce qui me paraît peu probable, ou comme une succession, dans toutes les particules des fils conducteurs, de décompositions et de recompositions du fluide résultant de la réunion des deux électricités, il a été généralement admis depuis Volta, et me paraît aujourd'hui complètement démontré par la raison que j'en ai donnée page 205. Voici, au reste, comment s'exprime, à ce sujet, M. Biot dans la Notice *sur l'aimantation imprimée aux métaux par l'électricité en mouvement*, qu'il lut à la séance publique de l'Académie des Sciences le 2 avril 1821 : « D'après les notions que nous » avons données plus haut sur la construction de l'appareil » voltaïque, il est évident que l'électricité qu'il développe » n'a pas une autre nature que l'électricité développée par » le frottement dans nos machines ordinaires : seulement » celle-ci est retenue et fixée, au lieu que l'autre est en mou- » vement. » (*Journal des Savans*, avril 1821, page 232.)

(2) Extrait des notes lues à l'Ac. R. des Sciences, dans les séances des 3 et 10 Déc. 1821 et 7 Jan. 1822. Ann. Ch. et Phys [2] tome XX. p 60-74. 1822.

reil consiste en un vase métallique formé par deux parois circulaires concentriques *ABC*, *abc* (pl. 8, fig. 1): à la partie évidée *abc*, s'adapte un bouchon de liège dans lequel glisse à frottement une tige de cuivre TT', portant, à ses deux extrémités, de petites coupes S et S'. Dans la coupe supérieure S' repose sur une pointe fine la partie mobile du conducteur : elle est composée d'un fil de cuivre plié en fer à cheval *DEFG*, qui supporte un cercle *DHG* de même matière. A l'un des côtés du vase est soudée une coupe S'', et dans le prolongement du même diamètre on place une autre coupe S''' sur le plateau en bois *RV*. Le vase *ABC* est soutenu au-dessus de ce plateau, dont le diamètre est à-peu-près double de celui du vase, à la distance d'un ou deux centimètres; les trois vis K, K', K'' servent à mettre le vase de niveau. Au centre du plateau est un trou circulaire de même grandeur que l'ouverture *abc* pratiquée au centre du vase métallique. Pour observer l'action qu'exerce sur la partie mobile *DEFG* un autre conducteur, je forme ce dernier avec une lame de cuivre $LL'L''$ (fig. 2) revêtue d'un ruban de soie, courbée en spirale de dix ou douze tours, et portant aux deux bouts deux appendices LM, $L'''M'''$, dont les extrémités nues plongent dans les coupes S'' et S'''.

Les choses étant ainsi disposées, on verse de l'eau acidulée dans le vase *ABC*, et du mercure dans toutes les coupes; on plonge l'appendice intérieur LM de la spirale dans une des coupes, S'' par exemple; l'appendice extérieur $L'''M'''$ plonge en même temps dans l'autre coupe S''', où vient se rendre le fil qui part de l'extrémité négative de la pile, et on ferme le circuit voltaïque en

plongeant dans la coupe S le fil qui part de l'extrémité positive. Le courant monte alors par la tige TT ; descend, de part et d'autre du conducteur mobile, dans le cercle DHG; traverse, en rayonnant, l'eau acidulée pour atteindre la coupe S'' ; parcourt la spirale du dedans au dehors ; arrive à la coupe S''', et de là à l'extrémité négative de la pile.

Soit D et G (fig. 3) les projections horizontales des fils DE et FG (fig. 1), LKl et $L'K'l'$ (fig. 3) deux portions d'une même spire, voisines de ces projections. Si l'on se rappelle qu'il y a attraction entre deux conducteurs voltaïques, dont les directions forment un angle droit quand le courant électrique qui les parcourt va dans tous les deux en s'éloignant ou en s'approchant de la perpendiculaire commune qui en mesure la plus courte distance, et qu'il y a répulsion quand l'un des courans va en s'éloignant de cette perpendiculaire, et l'autre en s'en approchant, on verra que le courant descendant en G est attiré par lK, et repoussé par KL. Il en résulte une force unique qui tend à faire tourner le fil en sens contraire de la direction du courant de la spirale. D'une autre part, l'action que $l'K'$ exerce sur le courant descendant en D est attractive, et celle de $K'L'$ sur le même courant est répulsive. Ces deux forces se combinent encore en une seule qui tend aussi à faire tourner le fil en sens inverse du courant de la spirale. Cette nouvelle force s'ajoute donc à la précédente, et des actions semblables se renouvelant dans chaque position des fils, tout le système du conducteur mobile tourne d'une manière continue, en sens inverse du courant de la spirale, aussi long-temps que la communication reste établie.

Sans rien changer au reste de l'appareil, on fait faire un demi-tour à la spirale de manière à plonger l'appendice $L''' M'''$ (fig. 2) dans la coupe S'', et LM dans la coupe S'''; alors la direction du courant reste la même dans le conducteur mobile; mais, dans la spirale, le courant s'établit du dehors au dedans, et l'appareil se meut dans un sens contraire à celui de sa rotation dans l'expérience précédente, parce qu'il y a alors répulsion entre les branches des conducteurs qui s'attiraient, et attraction entre celles qui se repoussaient, comme il est aisé de le voir en faisant attention au sens dans lequel le courant électrique parcourt alors ces branches (1).

On n'obtiendrait pas cet effet en changeant seulement l'ordre des communications avec les extrémités de la pile; car alors le courant, entrant par la coupe S''', circulerait dans la spirale du dehors au dedans, ce qui tendrait à changer le sens du mouvement comme dans l'expérience précédente; mais, d'une autre part, le courant qui descendait dans le conducteur mobile deviendrait ascendant, ce qui tendrait à renverser une seconde fois le sens du mouvement, et le rétablirait par conséquent dans sa direction primitive.

---

(1) On voit en effet, d'après les lois de l'action électro-dynamique, que quand une portion mobile de conducteur voltaïque forme un angle droit avec la direction d'un conducteur fixe, et se trouve toute d'un même côté de ce conducteur, elle tend, en général, à se mouvoir parallèlement au conducteur fixe : 1° en sens contraire du courant de ce dernier quand celui de la portion mobile tend vers le conducteur fixe; 2° dans le même sens que ce courant quand celui de la portion mobile va en s'en éloignant.

Si maintenant on enlève la spirale, et si on plonge les deux fils de la pile dans les coupes S et S'', le fil mobile sera soumis à la seule influence de la terre. Or, dans cette expérience comme dans tous les phénomènes qui dépendent de l'action électro-dynamique du globe, la terre agit comme le feraient des courans voltaïques situés dans des plans perpendiculaires à la direction de l'aiguille d'inclinaison, et tournant de l'est à l'ouest en passant par le sud, elle doit donc produire un mouvement semblable à celui que détermine la spirale; mais ce mouvement est plus lent (1), à moins que l'action de la spirale ne fût très-faible. Ce qui distingue cette expérience des précédentes, c'est que le sens des courans terrestres étant invariable, le sens du mouvement du conducteur change quand on renverse l'ordre des communications avec les extrémités de la pile. Le mouvement de révolution est dans le sens des courans terrestres, c'est-à-dire qu'il a lieu de l'est à l'ouest en passant par le sud, lorsque le courant voltaïque monte dans les deux branches DE et FG, parce qu'alors il va en s'éloignant de ces courans; il a lieu en sens contraire quand le courant est descendant dans les mêmes branches.

On peut substituer à la spirale un aimant ou un fais-

---

(1) Dans des expériences faites avec MM. Fourier, Thillaye, Pouillet et plusieurs autres physiciens, nous avons obtenu ce mouvement assez rapide pour être très-facile à observer, en nous servant d'une pile de 10 paires seulement, dont les plaques de zinc n'avaient que 4 pouces de largeur sur 6 de hauteur, et étaient enveloppées de cuivre, suivant le procédé de M. Wollaston.

ceau d'aimans dans une direction à-peu-près verticale, en plaçant dans l'ouverture *abc* l'extrémité supérieure des aimans et faisant reposer l'inférieure dans la coupe *S*; pour prévoir ce qui doit alors arriver, il faut se rappeler ce que j'ai établi dans mes précédens Mémoires, savoir : que l'action d'un aimant est toujours identique à celle qu'exerceraient des courans tournant autour de ses particules dans des plans à-peu-près perpendiculaires à son axe, et dont la direction serait la même que celle des courans terrestres, lorsque les poles de l'aimant sont situés, l'un par rapport à l'autre, comme ceux du globe, et que cet aimant est par conséquent placé dans la position contraire à celle que l'action terrestre tend à lui donner. Dans la figure 4, les flèches *F* indiquent la direction des courans dans la partie supérieure de chaque particule, et les flèches *F′* la direction de ces mêmes courans au-dessous de chaque particule, la lettre *N* indiquant le pole austral qui se dirige au nord, et la lettre *S* le pole boréal.

Cela posé; en appliquant aux courans des aimans ce qui a été dit du courant en spirale, on reconnaîtra facilement que le pole austral présenté en dessous du cercle *DHG* (fig. 1) le fera tourner dans le sens *DHG* quand le courant sera descendant dans les deux branches, et dans le sens *DGH* quand le courant y sera ascendant. Le pole boréal produira des effets opposés.

Le même effet peut s'obtenir en remplaçant l'aimant vertical par plusieurs aimans horizontaux, dont les poles homologues sont dirigés vers le centre de la tige *TT′*, comme le représente la figure 5. Les courans parallèles qui ont lieu à la face supérieure de chaque particule de

ces aimans agissent comme remplaçant des portions discontinues de la spirale employée dans la première expérience. Cette action est, à la vérité, contrariée par les courans opposés de la face inférieure des mêmes particules; mais elle produit cependant son effet, parce qu'elle s'exerce à une moindre distance du conducteur mobile. Ces aimans horizontaux se placent dans l'intervalle qui se trouve entre le vase métallique et le plateau, sur lequel on peut les placer à différentes distances de son centre, pour comparer les effets qu'ils produisent suivant qu'ils sont plus ou moins éloignés de ce centre.

Si l'on remplace le conducteur mobile *DEFGH* par une spirale en fil de cuivre $MM'M''$ (fig. 6), terminée par une crosse $M''M'''LK$ perpendiculaire au plan de la courbe, et qui appuie, par son extrémité garnie d'une pointe d'acier *K*, sur le fond de la coupe S' (fig. 1), on peut avec le même appareil répéter une expérience de M. Savary, de laquelle il résulte que les courans voltaïques qui ont lieu dans l'eau acidulée exercent les mêmes actions que les courans établis dans des conducteurs métalliques. Pour faire cette expérience avec succès, il faut rendre la spirale bien horizontale, et en maintenir les spires dans un même plan à l'aide de trois petites règles EE', $E'E''$, $E''E$ (fig. 6), attachées à tous les contours de la spirale, et formant un triangle équilatéral. En établissant alors la communication de la coupe *S* (fig. 1), par exemple, à l'extrémité positive de la pile, et de la coupe S'' à l'extrémité négative, le courant monte par la tige TT', descend par la crosse KLM'' (fig. 6) dans la spirale, où elle tourne du dedans au dehors, s'échappe, en rayonnant à travers l'eau, de la dernière spire à la paroi exté-

rieure du vase ABC, et atteint la coupe S'' qui ferme le circuit. Soit $M'C$ (fig. 6) un des courans établis dans l'eau acidulée, il repousse la partie $M'N$ de la spirale, et attire la partie $M'N'$ où il reste une portion du courant électrique qui ne traverse que plus tard l'eau acidulée. Il en résulte une force unique qui tend à faire marcher la spirale dans le sens $N'M'N$; des forces semblables agissent sur tous les points de la dernière spire, et il en résulte la rotation dans le sens indiqué. Si la spirale est assez près du fond du vase, outre les courans horizontaux dont je viens de parler, il s'en établit dans l'eau de verticaux qui se rendent au fond de ce vase; mais ces derniers allant, comme les courans horizontaux, en s'éloignant des courans de chaque spire, ils tendent à faire tourner l'ensemble de ces spires dans le même sens, et à en accélérer le mouvement. Ce mouvement n'est pas dû à l'action de la terre; car si cela était, il changerait lorsqu'on renverse l'ordre des communications avec les extrémités de la pile; ce qui n'arrive pas et ne doit pas arriver s'il est l'effet des courans de l'eau acidulée; car alors le courant, partant de la coupe S'', se rendra à travers l'eau à la spirale, la parcourra du dehors au dedans pour atteindre la coupe S', et l'extrémité négative de la pile; la direction des courans se trouvera ainsi renversée à la fois dans l'eau et dans le conducteur spiral, et le mouvement devra conserver la même direction.

Il est cependant à remarquer que la terre exerce une action sur la partie $M''M'''LK$ du conducteur mobile; et selon que cette action, dont l'effet a été déterminé dans une des expériences précédentes, favorise ou contrarie

le mouvement que l'on veut produire, celui-ci est plus ou moins rapide.

Pour observer le mouvement d'un aimant soumis à l'action des conducteurs voltaïques, je me sers d'un aimant cylindrique *NS* (fig. 8) terminé par deux vis creuses *c*, *c'*, à chacune desquelles peut s'adapter alternativement un contre-poids en platine *P* assez lourd pour maintenir l'aimant vertical quand on le plonge dans le mercure. Celui-ci est contenu dans une éprouvette à pied *MXY* (fig. 7), dans laquelle plonge un anneau en cuivre *HI* soudé à l'extrémité d'une tige de cuivre recourbée *GFE* qui porte une coupe métallique *O* pleine de mercure : une seconde tige métallique *ABDZ* glissant à frottement dans un bouchon de liége *U*, et portant à son extrémité inférieure une coupe *O'*, se termine, à son autre extrémité, par une pointe *Z* située dans le prolongement de l'axe du vase. En faisant glisser la tige métallique dans le bouchon *U*, on peut à volonté élever ou abaisser la pointe *Z*. Un tasseau de bois *R* sert à soulever l'éprouvette pour faire plonger l'anneau *HI* dans le mercure. Cet appareil peut servir pour répéter l'expérience de M. Faraday. Pour cela, je plonge le fil conducteur qui part du pole positif de la pile dans la coupe *O'*, et la pointe *Z* dans le mercure de l'éprouvette; il s'établit, à la surface du mercure, un grand nombre de courans qui partent du centre pour aller à la circonférence. On peut les diviser en trois espèces relativement à l'aimant sur lequel ils agissent. Les uns sont tangens à sa circonférence, d'autres le traversent, les troisièmes ne le rencontrent pas. Examinons maintenant l'action de chaque espèce de courans dans un plan de niveau : soit *efe'* (fig. 10) la section de l'anneau, *Z* le

point d'où partent tous les courans, et ZT, ZT' les deux courans tangens à l'aimant dont la section est représentée par $tmm't'n'n$, et dont je supposerai que le pole austral est tourné vers le fond de l'éprouvette; le courant ZT' attire la partie de chacun des courans appartenant aux particules de l'aimant qui tourne sa convexité vers ce courant, puisque le mouvement de l'électricité y a lieu dans le même sens. Le même courant ZT' repousse l'autre partie de chacun des courans de l'aimant, mais avec une intensité moindre à cause de la plus grande distance. Au contraire, le courant ZT repousse la partie la plus voisine de chaque courant de l'aimant, et attire la plus éloignée. Il résulte donc de ces diverses actions deux forces égales, l'une attractive, dirigée suivant Nt', l'autre répulsive dans le sens tN, et ces deux forces se combinent en une seule perpendiculaire à ZN, dans le sens $N\nu$. Les mêmes raisonnemens sont exactement applicables aux courans extérieurs Ze, Ze'. Ces courans, pris deux à deux symétriquement, donnent naissance à une force résultante dirigée suivant $N\nu$. Quant aux courans qui traversent l'aimant, on peut les partager chacun en trois portions : l'une du point Z à l'aimant; la seconde dans l'intérieur de l'aimant; la troisième depuis l'aimant jusqu'à l'anneau efe'. La seconde portion sera sans effet parce qu'elle ne produira que des attractions ou des répulsions réciproques entre les particules de l'aimant, et que de pareilles forces ne peuvent lui imprimer aucun mouvement. Quant à la première portion Zn et à la troisième mM, en examinant l'action qu'elles exercent sur les courans des particules de l'aimant, on voit aisément qu'il en résulte, encore dans la même direction, une force unique perpendiculaire à ZM; un courant

ZM' placé symétriquement de l'autre côté de *ZN* produira une force égale qui sera de même perpendiculaire à sa direction, et ces deux forces se combineront en une seule dirigée suivant *Nv*; l'ensemble de tous les courans horizontaux fera donc mouvoir l'aimant suivant *Nv*. Des effets semblables se reproduisant dans chaque position successive de l'aimant, celui-ci tournera autour du point *Z*, parce que la vitesse acquise sera à chaque instant détruite par la résistance du mercure.

Le courant vertical descendant *DZ* (fig. 7) exerce un autre genre d'action beaucoup plus faible à la vérité, et le plus souvent détruit par le frottement du mercure, mais dont on obtient parfois quelques indices dans les expériences. Ce courant attire la partie de chacun des courans de l'aimant, dont la direction, dans le sens *tn* (fig. 9), converge avec le courant descendant *DZ*, et en repousse la partie opposée; il en résulte dans l'aimant une tendance à tourner dans le sens *tn n' t'*, et une nouvelle force qui s'ajoute à celle des courans horizontaux émanés du point *Z*.

D'après ce qui précède, le mouvement de translation de l'aimant aura toujours lieu tant que cet aimant ne sera traversé que par des courans qui entrent d'un côté et sortent de l'autre; mais si on les rendait tous affluens dans l'aimant, ou qu'ils en sortissent tous, il n'en résulterait plus qu'un mouvement de rotation de l'aimant sur lui-même. Pour réaliser ce mouvement, que j'ai obtenu le premier, on met du mercure dans la cavité supérieure du barreau cylindrique *cc'* (fig. 8), et on y fait plonger le fil *Z*; alors tous les courans divergent de l'axe de l'aimant vers l'anneau de cuivre. Soit *ZM* (fig. 9) un de ces courans, la portion *Zm* est sans action, d'après ce qui a été dit précédemment, sur les parties *nm*, *n'm'*

(fig. 10) des courans *ZM*, *ZM'*; la portion *mM* (fig. 9) attire la partie de chacun des courans des particules de l'aimant, où ces courans vont en s'éloignant de *mM* dans la direction *mn'*, et repousse la partie où ils vont en s'en approchant dans la direction *nm*; toutes ces forces réunies tendent à faire tourner l'aimant sur lui-même dans le sens *n'mn*; résultat conforme à celui de l'expérience (1).

J'ai aussi obtenu le mouvement de rotation d'un conducteur voltaïque sur son axe. Pour qu'on puisse le produire avec le même appareil, il faut que le pied *EF* (fig. 7) de la potence *EFG* se continue par une colonne en verre *FL* qui porte une tige horizontale de cuivre *KL*, à laquelle est attachée la boîte *K*, destinée à recevoir l'aimant cylindrique *cc'* de la figure 8, de manière que le centre de cette boîte se trouve dans la verticale passant par le point *Z*; on y fixe l'aimant *cc'* par la vis de pression *V*. Avant de placer l'aimant dans cette boîte, on remplace le contre-poids de platine *P* par un cône d'acier *RT* (fig. 8) qui porte en *T* une vis semblable à celle du contre-poids, et qui s'adapte à la même cavité *c'* de l'aimant : comme la vis du cône n'atteint pas le fond de cette cavité, il y reste la place de quelques gouttes de mercure qu'on a soin d'y introduire avant que d'y adapter le cône, pour que la communication soit plus complète entre ce cône et l'aimant que le courant électrique doit parcourir successivement. L'extrémité *c'* de l'aimant qui porte le cône étant ensuite tournée en bas, on met un peu de mercure dans la cavité *c* de

(1) On peut, dans cette expérience, se passer du contre-poids *P*, en suspendant l'aimant *cc'* (fig. 8) à un fil très-fin *pq* (fig. 7) qui se tord quand l'aimant tourne.

l'autre extrémité, et on y fait plonger la pointe *Z* du conducteur *ABDZ*, comme on le voit dans la fig. 11. On place alors sous l'aimant un conducteur de cuivre *NN'* (fig. 12), dont l'extrémité inférieure porte un contre-poids de platine *O*, et la supérieure une petite coupe *UV*, dans laquelle on met un peu de mercure où vient plonger la pointe *R* du cône. Ce conducteur flotte sur le mercure de l'éprouvette *XMY*, comme l'aimant dans l'expérience précédente, et lorsqu'on met les coupes *O* et *O'* (fig. 7) en communication avec les deux extrémités d'une forte pile, on le voit tourner sur lui-même par l'action de l'aimant *cc'*, surtout si l'on a soin de diminuer le frottement du mercure de l'éprouvette contre la surface extérieure du conducteur par de petites secousses données à l'appareil.

J'ai rendu ce mouvement de rotation plus rapide et plus aisé à obtenir sans employer une pile aussi forte, en remplaçant ce conducteur par un tube de cuivre; sa masse étant alors réduite à peu de chose, celle du contre-poids de platine doit être diminuée dans la même proportion. La cause de ce mouvement de rotation que j'ai obtenu le premier est évidente quand on fait attention que le conducteur *NN'* (fig. 12) ne doit pas être considéré comme conduisant seulement l'électricité suivant une droite sans épaisseur, mais comme un faisceau d'autant de courans électriques qu'il contient de séries de particules parallèles à son axe : on voit alors que cette expérience rentre dans celle où l'aimant imprime au conducteur le mouvement de révolution continu, tandis que, quand c'est l'aimant qui est mobile, le mouvement de révolution et celui de rotation ne peuvent être assimilés, mais doivent être expliqués séparément, comme je l'ai fait plus haut.

En ajoutant à cet appareil un bout de tuyau de cuivre *ABCD* (fig. 13), qui s'adapte à frottement dans le cercle de cuivre *HI* (fig. 7), et qui porte près de son ouverture supérieure un diaphragme en verre *EF* (fig. 13), on a une disposition très-commode pour répéter l'expérience de Sir H. Davy sur la rotation du mercure. On place d'abord ce tuyau dans l'anneau *HI* (fig. 7) de manière qu'ils communiquent entre eux, soit par simple contact, soit en plongeant tous deux dans le mercure de l'éprouvette *XMY*; on met ensuite, dans la partie du tuyau *ABCD* (fig. 13) qui est au-dessus du diaphragme *EF*, une couche de mercure de peu d'épaisseur; on y fait plonger la pointe du cône *TR* (fig. 8) qui a été adapté à l'extrémité inférieure de l'aimant *cc'*, et les communications étant établies comme lorsqu'il s'agissait de faire tourner le conducteur *NN'* (fig. 11), on voit le mercure tourner de même autour de la pointe du cône par l'action de l'aimant.

On reconnaît sur-le champ la cause de ce mouvement, qui devient plus rapide et plus facile à observer quand on met un peu d'eau acidulée sur la surface du mercure, en faisant attention aux courans électriques qui parcourent les rayons du tuyau *ABCD*, en allant, soit du centre à la circonférence, soit de la circonférence au centre de ce tuyau, suivant que le courant est descendant ou ascendant dans l'aimant *cc'*.

Dans toutes ces expériences, on change le sens des mouvemens en renversant les poles soit de l'aimant, soit de la pile, et par conséquent le mouvement reprendrait sa direction primitive si l'on faisait à la fois ces deux changemens.

Extrait d'une Lettre de Mr. Ampère au Prof. De La Rive sur des expériences électro-magnétiques. (1)

Paris 12 Juin 1822.

Mr.

A l'occasion du Mémoire de Mr. Faraday, vous avez ajouté à nos connoissances, sur les phénomènes électro-dynamiques, un fait nouveau qui me paroît très-important pour éclaircir la théorie de ces phénomènes (1). Je veux parler de la manière dont un conducteur voltaïque plié en anneau, après que ses deux branches se sont appliquées contre un des côtés d'un aimant, lorsque le pôle de l'aimant répond à l'intérieur de l'anneau, glisse le long de ce côté en s'éloignant de son milieu, jusqu'à-ce qu'une de ses branches atteignant l'extrémité du barreau aimanté, tourne autour d'elle, et que l'anneau entourant alors ce barreau revienne à son milieu.

Dès que j'eus reçu cet écrit, dont j'ai mille remerciemens à vous faire, je me proposai, en vous les adressant, de vous faire part de toutes les réflexions dont j'étois alors occupé, et de leur application au fait que vous veniez de découvrir. Je vous parlerai tout-à-l'heure de cette application. Mais ces réflexions m'en suggérèrent d'autres qui me conduisirent à de nouvelles recherches; de manière que tout mon temps étant absorbé, et ce que j'avois projeté de vous écrire, éprouvant quelques modifications, d'abord par les

(1) Voyez *Bibl. Univ. Sc. et Arts*, Décembre 1821.

conséquences que je tirai des nouvelles observations que j'avois faites au mois de décembre dernier, ensuite par un fait nouveau et des calculs par lesquels j'ai déduit de ce fait tout ce qui me manquoit relativement à la formule qui représente l'action de deux portions infiniment petites de courans électriques, je n'ai jamais pu parvenir à achever une lettre que celle-ci est destinée à remplacer, et dont le commencement, écrit-il y a trois mois, avoit pour but de discuter contradictoirement mon opinion sur la nature de l'aimant, et celle des physiciens qui avoient cru pouvoir expliquer, au contraire, l'action que j'ai découverte entre deux fils conducteurs, en y admettant une aimantation transversale, sans rien changer d'ailleurs à la théorie ordinaire de l'aimant. C'est sur-tout pour cette discussion que j'avois fait graver les figures 23 et 24 de la planche VI de mon recueil; elle me semble désormais tout-à-fait inutile, puisque l'impossibilité d'imiter avec des aimants seulement, de quelque manière qu'on les dispose, le mouvement continu, toujours dans le même sens, qu'offrent les circuits voltaïques non fermés seulement, soit sous l'influence d'un circuit fermé, soit sous celle d'un aimant ou du globe de la terre, mouvement qu'on ne peut produire avec les circuits fermés, les seuls que ma théorie assimile aux aimants; puisque cette impossibilité, dis-je, prouve directement, ce que je cherchois dans cette discussion à établir sur des preuves compliquées et indirectes, savoir: que quoiqu'on puisse rendre raison de tous les phénomènes que présentent les aimants, en y admettant des courans électriques transversaux, formant autour de leurs particules des circuits fermés, on ne peut pas expliquer tous ceux qu'offrent les fils conducteurs en y admettant une aimantation transversale; et qu'ainsi l'hypothèse des savans physiciens dont je parlois tout-à-l'heure ne sauroit être admise, ainsi que je l'ai dit dans l'exposé

sommaire des nouvelles expériences électro-magnétiques faites par différens physiciens depuis le mois de mars 1821.

Je me bornerai donc dans cette lettre, Mr., 1.° à vous envoyer une copie de mon Mémoire sur les nouveaux faits que j'ai observés au mois de décembre 1821 : parmi ces faits se trouve la rotation de l'aimant sur son axe, dont la comparaison avec le mouvement de révolution sans rotation découvert par Mr. Faraday, et l'explication que j'y donne de la diversité des effets produits dans ces deux cas, me paroît une grande preuve de ma théorie, car ils en sont une suite nécessaire, et semblent inexplicables dans les autres manières de concevoir l'action que les fils conducteurs exercent les uns sur les autres et sur les aimants.

2.° A vous annoncer l'envoi que je vous ferai incessamment d'un autre Mémoire, celui que j'ai lû à l'Institut lundi dernier sur ce fait nouveau, qu'un conducteur spiral formant un circuit presque fermé dans un plan horizontal qui fait tourner, toujours dans le même sens, autour d'un axe vertical passant par le centre de la spirale, un conducteur mobile qui commence à cet axe et se termine à une certaine distance du même axe, dans de l'eau acidulée, ne tend en aucune manière à faire tourner, toujours dans le même sens, un conducteur mobile qui commence et se termine à l'axe, ni à faire tourner, toujours dans le même sens, un conducteur formant un circuit fermé, Mémoire où j'ai conclu de ce fait, que la fraction constante que j'avois représentée par $\frac{m}{n}$ dans la formule que j'ai publiée dans le cahier de septembre 1820 dans le Journal de physique, est égale à $-\frac{1}{2}$, ensorte que comme j'avois, en représentant en général cette fraction $\frac{m}{n}$ par k, transformé cette formule en celle-ci :

$$-\frac{g\,h.}{(1+k)\,r^{1+k}}\quad\frac{d^2\,(r^{1+k})}{ds\,ds'}\;ds\,ds'$$

où ds et ds' désignent deux portions infiniment petites de courans électriques, r leur distance, et g et h les intensités des deux courans électriques qui les parcourent; c'est par cette quantité qu'est représentée l'action mutuelle des deux portions ds, ds', quand on y fait $k=-\frac{1}{2}$, ce qui donne,

$$-\frac{2g\,h.}{\sqrt{r}}\cdot\frac{d^2\,(\sqrt{r})}{ds\,ds'}\;ds\,ds'$$

Vous sentirez assez, Mr., de quelle importance est ce résultat qui ramène enfin toutes les questions relatives à l'action de deux conducteurs voltaïques de quelque forme et de quelque grandeur qu'ils soient, à de simples questions de calcul intégral.

3.° A vous exposer un résultat auquel je suis parvenu depuis plusieurs mois, mais que je n'ai point encore publié, excepté l'indication que j'en ai faite dans une note jointe à l'analyse des travaux de l'Académie royale des sciences, pendant l'année 1821, page 22 et 23, de la partie mathématique par Mr. Delambre, qui a bien voulu y consigner cette note. Vous avez sans doute reçu cette analyse, qui a été publiée le 8 avril dernier. Voici en quoi consiste le résultat dont je parle.

Considérons d'abord un aimant cylindrique DC (fig 14), comme ayant autour de chacune de ses particules des courans électriques, qui d'après ma théorie, seront dirigés du côté qu'on voit dans la figure, comme l'indiquent les flèches de cette figure, lorsque l'extrémité D sera le pôle austral, et l'extrémité C le pôle boréal.

Supposons d'abord, quoique cela ne soit pas probablement ainsi, que ces courans soient tous de la même intensité, et dans des plans perpendiculaires à l'axe de l'aimant DC, et qu'on en approche, dans une direction perpendiculaire au

plan de la figure, un fil conducteur dont la projection soit en E; si le courant de ce fil conducteur va de l'espace antérieur au plan de la figure à celui qui est postérieur au même plan, il sera attiré par tous les courans des particules de l'aimant; abaissons sur cet aimant du point E la perpendiculaire E *o*, et à partir de l'extrémité *n* de l'aimant, prenons *o m* = *o n*, en décomposant, parallèlement à l'axe de l'aimant, les attractions exercées par les particules de cet aimant sur le fil conducteur projeté en E sur le plan de la figure; il est évident que les composantes parallèles à l'axe CE, résultant des attractions des particules situées dans les intervalles *o m*, *o n* seront égales et opposées, ensorte qu'elles ne tendront à produire dans ce fil conducteur aucun mouvement parallèle à C D, mais il restera les composantes des forces attractives des particules situées dans l'intervalle *m f*, qui le feront mouvoir vers *f* jusqu'à ce qu'il atteigne le milieu de l'aimant, point auquel il devra s'arrêter après avoir oscillé de part et d'autre de ce milieu. C'est ce que vous avez vérifié dans vos ingénieuses expériences, sur l'anneau voltaïque flottant.

Si le courant du fil conducteur projeté en E alloit, au contraire, de l'espace postérieur au plan de la figure, à l'espace antérieur, il y auroit répulsion entre ce fil et toutes les particules de l'aimant; les répulsions des composées, parallèlement à l'axe des particules situées dans les intervalles *o m*, *o n* se détruiroient encore mutuellement, et il resteroit les répulsions provenant des particules de l'intervalle *m f*, qui repousseroient le fil conducteur vers l'extrémité *n* de l'aimant dont il est le plus près, comme vous l'avez aussi vérifié.

Cette action parallèle à l'axe de l'aimant est, dans les deux cas, d'autant plus grande, que le point E est plus loin du milieu de cet axe, parce que la portion *m f*, qui la produit; est alors plus grande, et que la distance *m o*, à laquelle, elle agit est plus petite.

fig. 2

Représentons maintenant par *a b c d* (fig. 15), la section faite dans un aimant par un plan qui passe par son axe, A l'extrémité de cet aimant qui se dirige vers le nord, et B celle qui se dirige au midi; les courans de chacune de celles des particules de l'aimant qui se trouvent dans l'axe; ne pourront qu'être dans des plans perpendiculaires à cet axe, et leurs directions, d'après la situation que nous supposons aux pôles de cet aimant, seront dans la partie supérieure de chacune de ses particules, celles qu'indiquent les flèches marquées sur l'axe, de A en B. Considérons maintenant les courans électriques des autres particules formant des séries parallèles à la série AB; il résulte de ce qui précède que les parties de ces courans les plus éloignées de l'axe tendront, par l'action de ceux de la série A B, et successivement de toutes les séries comprises entre l'axe et la série que l'on considère, à se porter vers le milieu de l'aimant, tandis que les parties des mêmes courans qui se trouvent du côté de l'axe, tendront à être repoussées vers l'extrémité de l'aimant la plus voisine. Les plans des courans électriques des particules des séries latérales devront donc, en vertu de cette action, se disposer dans des plans d'autant plus inclinés à l'axe de l'aimant qu'elles seront plus éloignées de cet axe et s'écarteront davantage de son milieu; ensorte que ces courans dans la partie supérieure de chaque particule, devront prendre la direction marquée par les flèches de la figure, dans toute la masse de l'aimant.

D'après les calculs de Mr. Savary, confirmés en ce point par les expériences de Mr. Faraday sur les fils conducteurs pliés en hélice, que ce célèbre physicien a consignées dans son Mémoire du 11 septembre 1821, les points auxquels on donne dans l'aimant le nom des pôles, devroient être situés précisément à ses extrémités, quand on suppose que tous les courans électriques d'un aimant sont situés dans des plans exactement perpendiculaires à son axe, et qu'ils ont

tous la même intensité. C'est ce qui n'a pas lieu pour les aimans ordinaires, mais seulement pour ceux qu'à construit avec des fils d'acier extrêment fins, un jeune physicien de Paris, déjà célèbre par ses belles recherches sur l'électricité développée par la pression; or, il est aisé de voir qu'indépendamment de ce que cet effet seroit produit par une intensité variable des courans, qui seroit d'autant plus grande que ces courans seroient plus près du milieu de l'aimant, ainsi que l'ai admis d'abord, ce même effet est une suite nécessaire de l'inclinaison des plans des mêmes courans dans le sens que je viens d'indiquer. Il l'est également de voir que le même fil conducteur qui est attiré dans l'intervalle des deux pôles doit être repoussé au delà; que les deux extrémités de deux aimans qui portent des noms contraires, doivent s'attirer non-seulement quand les axes des deux aimans sont en ligne droite, mais encore quand ils sont dans la position représentée dans la (figure 16). Cette inclinaison des plans des courans électriques des aimans donne une solution plus complète que celle dont je me suis servi dans le post-scriptum de la lettre à Mr. Van-Beck, que vous avez pu lire dans l'exemplaire de mon recueil, que vous a remis Mr. Pictet, (pag. 169 et suivantes.)

Il ne reste plus qu'à voir pourquoi, dans l'observation nouvelle que vous doit la physique, quand les deux branches du fil conducteur plié en anneau se sont appliquées contre l'aimant, elles glissent jusqu'à ce qu'une d'elles atteigne son extrémité; mais c'est encore là une suite nécessaire de ce que la plus voisine du milieu de l'aimant est attirée vers ce milieu, et que la plus éloignée en est repoussee avec une force évidemment plus grande que la force attractive exercée sur l'autre branche, ces deux forces étant parallèles à l'axe de l'aimant, et la seconde étant exercée sur une branche de fil conducteur plus éloignée du milieu de l'aimant.

Je suis, etc. A. Ampère.

De *l'Action qu'exerce la Terre sur les conducteurs voltaïques.*

Lorsque j'eus découvert, au mois d'octobre 1820, l'action du globe terrestre sur les conducteurs mobiles, je lus, le 30 du même mois, un Mémoire à l'Académie royale des Sciences, où, après avoir décrit les appareils que j'avais fait construire et les expériences que j'avais faites pour constater cette action de la manière la plus complète, je me bornai à annoncer qu'elle était précisément celle qu'exerceraient des courans électriques allant de l'est à l'ouest dans le globe, suivant des directions dont la moyenne coïnciderait avec ce qu'on appelle l'*équateur magnétique.* La vérité de cette assertion est aujourd'hui démontrée par toutes les observations; mais je me bornai alors à voir d'une manière générale qu'elle était d'accord avec les faits, remettant à un autre temps d'en comparer les conséquences avec les résultats de l'expérience dans chaque cas particulier.

Je reconnus cependant qu'il fallait, pour représenter les phénomènes, que les courans électriques terrestres fussent d'autant plus intenses qu'ils étaient plus près de l'équateur, et j'en fis l'observation dans la notice lue à la séance publique de l'Académie des Sciences, le 2 avril 1821.

Lorsque M. Faraday eut découvert le mouvement de révolution continue, imprimé par un courant à un conducteur mobile, je fis les expériences qui sont décrites dans le tome xx, pag. 60 et suiv. des *Annales de Chimie*, p. 237 et suiv. de ce recueil : je vis le même mouvement produit d'abord avec un conducteur fixe plié en spirale, et ensuite

par la seule action du globe terrestre. Je voulais, à cette époque, examiner en détail les phénomènes par lesquels cette action se manifeste; d'autres occupations m'en détournèrent encore, et je ne remarquai même pas que l'action du conducteur spiral $LL'L''$ (pl. 8, fig. 2) et celle de la terre devaient, d'après ma théorie, produire des phénomènes tout différens sur un conducteur mobile, tournant autour d'un axe vertical, auquel il reste constamment parallèle, parceque l'axe du conducteur spiral est au-dedans de la surface cylindrique décrite par le conducteur mobile, et qu'il est parallèle aux côtés de cette surface, tandis que l'axe des courans terrestres forme, au contraire, avec les mêmes côtés un angle égal au complément de la latitude magnétique, et se trouve ainsi en dehors et très-loin de la surface cylindrique, partout où cette latitude est moindre que 90°; d'où il suit, d'après les lois de l'action électro-dynamique, telles que je les ai données en 1820, que l'action du conducteur spiral tend à faire tourner le conducteur vertical mobile toujours dans le même sens, et que celle des courans terrestres tend, au contraire, à lui donner une direction fixe, en le portant du côté d'où ces courans viennent, c'est-à-dire, à l'est, quand le courant de ce conducteur mobile descend, et va en s'approchant des courans terrestres, tandis que la même action tend à le porter du côté où vont ces courans, c'est-à-dire à l'ouest, quand le courant du conducteur mobile est ascendant.

Il n'est pas plus difficile de déduire de la même théorie, quand il s'agit d'un courant horizontal mobile tournant autour d'une de ses extrémités, que le conducteur spiral et les courans terrestres tendent à le faire tourner toujours dans le même sens, précisément parce qu'ils sont

également en dehors du cylindre vertical qui a pour base le cercle décrit par ce conducteur mobile.

M. de La Rive fils, d'après ce que je lui avais dit sur ce sujet, a montré en détail combien ces conséquences immédiates de ma théorie étaient faciles à en déduire; mais je ne l'avais point fait, lorsque ce jeune et habile physicien, dans une suite d'expériences pour lesquelles il a inventé de nouveaux appareils, a observé toutes les circonstances des mouvemens produits par l'action du globe sur les conducteurs mobiles. Ce n'est qu'en voyant ces expériences que j'ai reconnu que j'avais eu tort de comparer l'action électro-dynamique terrestre à celle du conducteur fixe spiral, lorsqu'elles s'exercent sur un conducteur mobile vertical, et que j'ai vu comment les résultats obtenus par M. de La Rive fils sont une suite nécessaire de ma théorie, et viennent lui prêter un nouvel appui.

Desirant que ce recueil ne contînt pas seulement ce que j'ai fait sur les phénomènes électro-dynamiques, mais encore les expériences dues à d'autres physiciens, quand elles font faire de grands pas à cette nouvelle branche de la physique, j'ai cru devoir y insérer l'important Mémoire de M. de La Rive fils, comme j'y avais déjà inséré celui de M. Faraday, où se trouve la brillante découverte dont j'ai parlé plus haut, et tant d'autres faits intéressans. J'ai changé seulement quelques-unes des expressions employées par M. de La Rive fils, afin qu'elles fussent en harmonie avec les dénominations dont je me sers dans le reste de ce recueil; j'ai aussi ajouté quelques développemens et quatre notes signées Amp. à la partie de son Mémoire où il applique ma théorie à ses expériences.

MÉMOIRE *sur l'Action qu'exerce le globe terrestre sur une portion mobile du circuit voltaïque; par M.* DE LA RIVE *fils.*

(Lu à la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève le 4 septembre 1822.)

PARMI les nombreuses et intéressantes recherches de M. Ampère dans la nouvelle branche de la physique, à laquelle a donné naissance la découverte de M. OErsted, une des plus remarquables est sans doute l'influence que ce savant physicien a trouvé être exercée par le globe sur une portion mobile de courant électrique.

Amené, par une suite de ses vues théoriques, à reconnaître cette action, M. Ampère a fait, à ce sujet, deux expériences principales.

La première consiste dans la direction constante qu'affecte un fil métallique plié en rectangle ou en cercle, quand il est placé dans le circuit voltaïque; cette direction est telle que le plan de ce rectangle ou de ce cercle, quand il ne peut que tourner autour de la verticale passant par son point de suspension et son centre de gravité, vient toujours se placer de manière qu'il soit perpendiculaire au méridien magnétique, et que le courant soit dirigé de l'est à l'ouest, dans sa partie inférieure. L'auteur de cette expérience, en la comparant à celle où le même rectangle est amené, par des courans électriques situés au-dessous de lui, dans une position telle que leur direction soit parallèle à celle du courant de ce rectangle dans sa partie inférieure, en conclut l'existence sur le

globe terrestre de pareils courans dirigés de l'est à l'ouest, parallèlement à l'équateur magnétique (1).

La seconde expérience de M. Ampère, qui est décrite dans son dernier Mémoire (2), démontre un nouveau genre d'action résultant toujours de l'influence du globe sur une portion mobile du courant voltaïque. Un fil métallique plié en fer à cheval est suspendu par une pointe fixée au milieu de sa partie horizontale. L'appareil est disposé de manière que le courant, arrivant par le point de suspension, se déverse dans les deux branches horizontales situées de chaque côté de ce point, et redescend par conséquent, dans le même sens, dans chacune des branches verticales. Alors le plan du fer à cheval prend un mouvement continu de rotation, qui ne s'arrête que lorsqu'on interrompt les communications, et dont le sens varie quand on change celui du courant. M. Ampère, en n'attribuant cette action, dans le Mémoire cité ci-dessus, qu'aux deux branches verticales qui se trouvent dans l'appareil, l'explique encore dans l'hypothèse d'un courant électrique dirigé sur le globe de l'est à l'ouest.

Avant de passer à l'examen de quelques expériences que j'ai faites sur ce sujet, je décrirai sommairement l'appareil dont j'ai fait usage.

Il se compose de deux plateaux circulaires de bois, l'un

---

(1) *Voyez* le premier Mémoire de M. Ampère et le § 18, p. 22 de l'*Exposé des nouvelles découvertes sur le magnétisme et l'électricité*, par MM. Ampère et Babinet.

(2) Voyez *Bibl. univ.* Sciences et Arts, juillet 1822, *Annales de Chimie et de Physique* tome xx, page 64, et la page 241 de ce recueil. Cette expérience avait déjà été annoncée dans *les Ann. de Ch. et de Ph.* tome xviii, page 333.

ABCD (pl. 9, fig. 1), de 0^{m},406; l'autre *abcd* de 0^{m},364 de diamètre. A leur bord, est creusée une rainure de 0^{m},013 de profondeur, dont la largeur est de 0^{m},040 pour le premier, et de 0^{m},027 pour le second; chacun de ces deux canaux circulaires destinés à recevoir du mercure (1) est séparé en deux compartimens égaux, par deux cloisons A, C, et *a*, *c*, qui peuvent s'adapter ou se supprimer à volonté, ou bien, si on le trouve plus commode, qui sont moins hautes que les parois latérales des deux canaux, de manière que le mercure des deux compartimens puisse se réunir, et ne former qu'un seul canal lorsqu'on en met suffisamment. Le plus petit des deux plateaux est soutenu à 0^{m},487 au dessus du plus grand, au moyen d'un pied solide EFGH, qui se replie en retraite en FG pour laisser l'espace libre dans la direction de la verticale qui joint les centres des deux plateaux. Il faut de plus que les quatre cloisons A, C, *a*, *c*, qui sont deux à deux situées sur le même diamètre, se trouvent sur le même plan vertical qui passe par la partie horizontale FG du pied. Au centre O du plateau supérieur est un écrou enfoncé de sept ou huit

(1) On peut employer, au lieu de plateau de bois, des plats de terre de pipe de même grandeur et terminés par un canal semblable; on obtient par là l'avantage de pouvoir mettre sur la surface du mercure une couche d'eau acidulée qui facilite le mouvement des pointes métalliques plongeant dans le mercure, et fait qu'on a besoin par conséquent d'une pile voltaïque un peu moins forte que dans le cas des plateaux de bois, où il faut un courant d'une énergie très-intense.

millim. au-dessous de la surface de ce plateau, auquel on peut visser tantôt une pointe *x*, pour y placer une chappe, tantôt un godet *y*, pour y mettre une pointe; cet écrou est adapté à l'extrémité d'un conducteur OIKLM, qui descend le long du pied, et vient en M plonger dans une capsule pleine de mercure; ce conducteur est interrompu en L, afin que l'on puisse incliner le plateau supérieur au moyen d'une charnière qui se trouve en F, ce qui sert à verser le mercure que l'on met dans le canal supérieur *abcd*; mais on remédie à cette interruption au moyen d'une capsule pleine de mercure, qui joint métalliquement les deux bouts du conducteur interrompu. Un autre conducteur partant en P du canal supérieur *abc*, vient en Q descendre le long du pied, parallèlement au premier en RSTU, et plonger en N dans une capsule pleine de mercure; il est interrompu, comme le précédent, en T, et on remédie à cette interruption de la même manière. Chacun des compartimens du canal inférieur est muni d'une petite lame de platine qui plonge dans une capsule pleine de mercure en se recourbant en V et W : par là, on peut mettre la pile en communication avec le mercure des deux canaux sans y plonger directement les rhéophores, ce qui l'agite et le salit. Trois vis X, Y, Z, qui soutiennent le plateau inférieur, servent à mettre de niveau l'appareil qu'on doit avoir soin de placer toujours, dans les expériences, de manière que le plan vertical qui passe par les quatre cloisons ne se trouve jamais être celui du méridien ou de l'équateur magnétique, afin qu'il n'y ait point d'obstacle dans les directions importantes du sud au nord, et de l'est à l'ouest.

Mon père avait observé, il y a quelque temps (1), que si, au rectangle de M. Ampère, qui se dirige constamment quand il est placé dans le circuit voltaïque, on supprime la partie inférieure, toutes les autres conditions restant les mêmes, cette suppression ne changeait point le résultat de l'expérience, et que le rectangle diminué d'un côté se dirigeait absolument comme le rectangle entier.

Un fil de laiton *fghik* (fig. 2), plié en fer à cheval, est supendu sur le godet *y* fixé en O (fig. 1), par une pointe *h* placée au milieu de sa partie horizontale *gi* : ses deux branches verticales terminées chacune par un fil de platine *fe* et *kl*, plongent légèrement dans le mercure de chacun des compartimens du plateau inférieur ABCD (2). Aussitôt qu'on met cet appareil dans le circuit voltaïque, en plongeant dans le mercure que contiennent les capsules V et W, les deux fils soudés aux deux extrémités de la pile, et auxquels M. Ampère donne le nom de *rhéophores* (porte-courant), on voit le fil de laiton *fghik* se fixer de manière que son plan soit perpendiculaire au méridien magnétique, et que le courant soit dirigé de l'ouest à l'est, dans la partie horizontale unique et supérieure dans ce cas, et qu'il soit, par conséquent, ascendant dans la branche verticale située à l'ouest, descendant dans celle située à l'est. Si l'on intervertit le sens du courant, l'appareil quitte sa position et se meut indif-

---

(1) *Voyez* la lettre du prof. de La Rive à M. Arago, *Annales de Chimie et de Physique,* tome xx, p. 269 et suiv.

(2) Dans cette expérience, le plateau supérieur n'est d'aucune utilité.

féremment dans un sens ou dans un autre, pour, après avoir décrit 180°, venir se placer comme il l'était auparavant ; mais les deux cloisons A et C (fig. 1) l'empêchent de compléter son tour, et il s'arrête contre l'obstacle qui se présente à lui. On le fait revenir de nouveau à sa première position stable, en renversant les communications.

Les courans qui, dans cette expérience, s'établissent dans le mercure, n'influent point sur le phénomène, et ce métal ne sert que de conducteur, ce dont on peut s'assurer facilement en plaçant les rhéophores de la pile dans le mercure, à quelque endroit des deux canaux ABC et ADC que l'on veuille, sans que ce changement produise la moindre différence dans le résultat de l'expérience. La même observation s'applique à toutes les expériences subséquentes, dans lesquelles le mercure a été employé comme conducteur.

Le fait que je viens de citer semblait indiquer que l'existence de toutes les portions du rectangle n'était pas nécessaire pour qu'il se dirigeât, et que par conséquent il devait y avoir des parties de l'appareil qui, étant indispensables, produisaient l'effet obtenu, et d'autres qui n'y contribuaient point.

Pour reconnaître les unes et les autres, je continuai d'enlever au rectangle successivement ses côtés les uns après les autres.

Après avoir d'abord ôté la partie inférieure, je supprimai au contraire la supérieure. Un tube de verre assez mince *nt* (fig. 3) est terminé par deux fils verticaux *nm* et *tu* réunis inférieurement par un horizontal. Ce rectangle repose sur le godet *y* fixé en O (fig. 1) par une pointe *o* placée au milieu du tube de verre. Les extré-

mités supérieures des fils verticaux communiquent chacune à un fil de platine *npq* et *trs* qui, en se recourbant de quelques millim., plonge dans le mercure des deux parties *abc*, *adc*, du canal supérieur qui leur correspondent(1). En plaçant les rhéophores chacun dans un de ces canaux, l'appareil, mis ainsi dans le circuit voltaïque, se dirige comme le précédent, c'est-à-dire, de manière que son plan soit perpendiculaire au méridien magnétique; mais, dans ce cas, le courant est dirigé dans la partie horizontale, ici inférieure, de l'est à l'ouest, et par conséquent, comme dans les deux autres expériences, de bas en haut dans le fil vertical à l'ouest, de haut en bas dans celui à l'est.

Il faut avoir soin que les portions horizontales *np* et *rt*, et verticales *pq* et *rs* de platine qui établissent la communication supérieurement, soient très-petites pour que l'expérience soit plus concluante. En les faisant varier de grandeur depuis $0^m,027$ jusqu'à $0^m,007$, l'égale réussite de l'expérience précédente et des expériences suivantes analogues m'a prouvé que, dans tous les cas, leur influence était nulle.

En comparant entre elles les trois expériences faites sur la direction donnée par l'influence de la terre à une portion mobile de courant voltaïque, celle où le rectangle est entier, et les deux, où tantôt la portion inférieure, tantôt la supérieure sont supprimées, on re-

(1) On voit, dans cette expérience, la nécessité du pied en retraite en GF de la fig. 1, pour que la partie horizontale *mu* du conducteur mobile de la fig. 3 n'empêche pas ce rectangle de se mouvoir.

marque que le phénomène reste toujours le même, quoique l'on voie le sens du courant changer dans la partie horizontale; mais qu'à la vérité, ce sens reste constant dans les branches verticales. Ne pourrait-on pas en conclure que les courans horizontaux n'exercent aucune influence dans le phénomène, et qu'il est uniquement dû aux deux verticaux?

Pour confirmer la vérité de cette hypothèse, on n'a qu'à supprimer au rectangle à la fois la portion supérieure et la portion inférieure, remplacer la première par un tube de verre *nt* (fig. 4), au milieu duquel est fixée une pointe *o*, et terminer les deux fils verticaux par deux pointes de platine *m* et *u*, plongeant chacune dans le compartiment du canal inférieur qui lui correspond; les parties supérieures de ces mêmes fils verticaux communiquent, comme dans l'expérience précédente, chacune avec le canal supérieur de mercure qui lui correspond, au moyen d'un fil de platine. Après avoir eu soin de faire communiquer ensemble par un conducteur les deux compartimens du canal supérieur, on voit, en plaçant les rhéophores dans les capsules V et W (fig. 1), l'appareil, mis dans le circuit voltaïque, prendre la même direction que les appareils semblables dans les expériences précédentes.

En un mot, le plan de deux fils verticaux qui peuvent tourner autour d'un axe commun se place perpendiculairement au méridien magnétique lorsque les deux fils sont traversés chacun par le courant en sens contraire; de plus il se fixe dans une position telle que le courant soit ascendant dans le fil à l'ouest, descendant dans celui à l'est. Si on intervertit le sens du courant, l'appareil

quitte sa place, et tournant indifféremment, comme dans les autres expériences soit dans un sens, soit dans un autre, il vient s'appuyer contre les cloisons qui l'empêchent de décrire 180°, pour se placer dans la position où il reste stable.

En examinant cette dernière expérience, abstraction faite de toute autre, ne semble-t-elle pas consister en ce que, dans un semblable appareil, un fil vertical seul se place à l'est lorsque son courant est descendant, à l'ouest lorsqu'il est ascendant? On peut, pour vérifier cette idée, mettre un des rhéophores dans le canal supérieur *abc*, et l'autre dans le canal inférieur ABC correspondant; par cette disposition, un seul des deux fils verticaux se trouve dans le circuit voltaïque, et son influence fait placer l'appareil comme dans l'expérience précédente, le fil lui-même se dirigeant à l'est si le courant est descendant, à l'ouest s'il est ascendant.

Pour bien faire cette dernière expérience qui est importante, puisqu'elle démontre une action exercée par l'influence du globe sur un seul courant rectiligne et vertical, on peut se servir de l'appareil (fig. 5), qui est le même que le précédent, si ce n'est qu'on substitue à une des branches verticales un contre-poids *s* qui fait équilibre à la branche restante. Si l'on réunit alors en un seul canal circulaire les deux compartimens inférieurs et qu'on en fasse autant pour les supérieurs, la branche verticale pourra décrire une circonférence entière. On la voit en effet, dès qu'elle est mise dans le circuit voltaïque, ce qu'on fait en plaçant les rhéophores dans les capsules V ou W (fig. 1) et dans la capsule N, se porter vers la situation où le plan qui passe par elle et l'axe autour duquel elle

tourne est perpendiculaire au méridien magnétique, et s'y arrêter à l'est si son courant est descendant, à l'ouest s'il est ascendant. Quand elle est fixée à l'une ou à l'autre de ces positions, en changeant les poles de face, on la voit faire 180° indifféremment dans un sens ou dans un autre, pour prendre une autre position stable, dans laquelle elle reste après quelques oscillations.

Ce dernier fait est le plus simple de tous ceux que j'ai examinés jusqu'à présent, puisque l'action du globe ne s'exerce ici que sur un seul courant rectiligne; il est en même temps le plus général, puisqu'en l'admettant on peut rendre raison de tous ceux qui sont relatifs à la direction donnée constamment à un courant mobile par la seule influence de la terre.

En partant de ce dernier fait, que pourra-t-on conclure sur ce qui doit arriver quand le courant voltaïque parcourt dans le même sens les deux branches verticales de l'appareil (fig. 4)? Ces deux portions de courant tendant à la fois toutes les deux à l'est, ou toutes les deux à l'ouest, il en résultera que l'appareil, ne prenant aucun mouvement, sera indifférent à toute position. C'est ce qu'on peut vérifier en plaçant la pointe *o* de l'appareil (fig. 4) sur le godet *y* vissé en O (fig. 1), et en mettant l'un des rhéophores dans la capsule W, et l'autre dans le mercure du canal *adc* supérieur, après avoir eu soin en outre de faire communiquer entre elles, par un conducteur, les capsules V et N. Par cette disposition, le courant est ascendant ou descendant à la fois dans les deux branches de l'appareil, et celui-ci reste immobile et indifférent à toute position.

Cette dernière expérience semble d'abord contradic-

toire avec celle de M. Ampère, d'après laquelle ce savant conclut qu'un courant vertical, ou deux verticaux liés ensemble et dirigés dans le même sens, prennent un mouvement continu de rotation autour de leur axe. On peut facilement répéter cette expérience en plaçant la pointe *h* de l'appareil *fg h i k* (fig. 2) sur le godet fixé en O (fig. 1), dans lequel on met une bulle de mercure, et en réunissant en un seul canal les deux compartimens ABC, ADC, où plongent les extrémités *fe* et *k l* de platine des deux branches verticales. Si l'on met le rhéophore positif dans la capsule M, et le rhéophore négatif dans une des capsules V ou W, le courant, montant jusqu'au godet placé en O, se déverse là dans les deux branches horizontales *hg* et *hi*, qu'il parcourt par conséquent en sens contraire, et redescend dans le même sens dans les deux verticales. Le plan du fer à cheval prend aussitôt un mouvement continu de rotation, dont on fait varier le sens en changeant celui du courant.

La grande différence entre cette expérience et la précédente consiste en ce que, dans la dernière, il y a, outre les deux courans verticaux dirigés dans le même sens, deux courans horizontaux partant du centre et dirigés chacun dans un sens différent; et ne semblerait-il pas que c'est à ces courans que doit être attribuée la rotation, puisque, lorsqu'ils n'existent pas et qu'on se borne aux verticaux, il n'y a point de mouvement ?

Pour s'en assurer, il devenait nécessaire d'étudier l'espèce d'action qu'exerce le globe sur un courant horizontal.

C'est sur un pareil courant que M. Ampère avait reconnu d'abord, en 1820 (1), l'influence du globe terrestre, en

(1) *Ann. de Ch. et de Ph.*, t. xv, p. 183, lig. 19-23.

voyant, dans son appareil destiné à démontrer l'attraction ou la répulsion de deux courans parallèles, que le fil horizontal mobile, lorsqu'il était seul dans le circuit voltaïque, s'avançait parallèlement à lui-même, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, suivant celui du courant, et cela de même dans tous les azimuths. M. Faraday, dans un Mémoire publié depuis peu (1), dans lequel il ajoute de nouveaux faits à ceux dont la physique lui est déjà redevable, consigne la même expérience. En suspendant à un fil de soie très-long un fil métallique horizontal, dont les deux extrémités, recourbées légèrement, plongent chacune dans un baquet de mercure, il a vu ce fil, quand il est mis dans le circuit voltaïque, s'avancer comme s'il était tiré par des forces parallèles et égales dans toute sa longueur. Le phénomène avait lieu de la même manière, dans quelque direction que fût placé le conducteur horizontal, soit qu'il fût dans celle de l'ouest à l'est, soit dans celle du nord au sud, soit dans tout autre intermédiaire; mais il s'avançait dans un sens contraire si la direction du courant changeait. Il suit de là qu'un courant horizontal ne pouvant tourner qu'autour d'un point de suspension, fixé au milieu de sa longueur, n'aura aucun mouvement, puisque ce point de suspension résiste aux forces parallèles qui tirent le courant dans le même sens dans toute sa longueur; c'est ce qu'en effet l'expérience confirme.

Mais si, au lieu de mettre le point fixe au milieu du courant, on le met au bout, alors le fil conducteur, tiré par des forces parallèles, tournera autour du point fixe;

(1) Ce Mémoire, qui n'a pas été traduit, se trouve *Quarterly Journal of Sciences and Arts*, vol. XII, p. 416, art. 5.

et comme ces forces se renouvellent à chaque position du fil, il acquerra un mouvement de rotation continu; c'est ce qui arrive en effet, comme on peut s'en assurer, en plaçant la chappe *o* d'un fil horizontal *np* (fig. 6) sur une pointe *x* (fig. 1) qu'on visse à l'écrou O, au lieu du godet *y*; par ses extrémités de platine *nm* et *pq*, le fil plonge dans chacun des compartimens du canal supérieur; et en ne faisant traverser le courant qu'à la moitié du fil, ce qu'on fait en mettant les rhéophores dans les capsules M et N, cette moitié prend un mouvement continu de rotation autour du point O, soit dans un sens, soit dans un autre, suivant la direction du courant; mais ce mouvement se trouve interrompu par les cloisons *a* et *c*. On peut les supprimer, et comme, dans ce cas, le courant arrivant toujours par le point de suspension, parcourt chaque moitié du fil horizontal dans un sens différent, l'action de rotation exercée sur chacune de ces moitiés s'ajoute et ne se détruit pas, comme dans le cas où le courant traverse les deux moitiés dans le même sens. Le fil tourne alors d'un mouvement continu autour du point O, et l'on fait varier le sens de cette rotation en changeant celui du courant. Cette expérience est absolument la même que celle de M. Ampère, excepté que dans celle-ci il y a deux branches verticales traversées par le courant dans le même sens; mais comme elles sont indifférentes à toute position, l'effet des branches horizontales subsiste seul et tout entier pour faire tourner l'appareil autour de son axe (1).

(1) M. Ampère, ayant répété ses expériences pendant son séjour à Genève, a supprimé en effet les parties verticales de

M. Faraday avait obtenu le même mouvement de rotation en faisant passer le courant dans un fil incliné d'un angle assez grand sur un axe vertical, autour duquel il était libre de décrire un cône; l'extrémité inférieure du fil plongeait dans un baquet de mercure pour qu'elle pût être mise en communication avec la pile. Ce fil, de même que l'horizontal, tournait comme tiré par des forces parallèles, tantôt dans un sens tantôt dans un autre, suivant la direction du courant (1).

Maintenant que l'espèce d'action qu'exerce la terre sur un courant horizontal est bien reconnue, on peut se servir, pour démontrer cette même action sur un courant vertical, d'un appareil plus commode que celui employé ci-dessus. Un godet en bois *hi* (fig. 7) est placé au centre d'un plateau de bois soutenu par trois vis *m*, *n*, *p*, qui le mettent de niveau. Du centre de ce godet part un tube de verre qui contient une tige métallique; sortant en *c* du tube, elle se termine supérieurement par un godet en acier. Un fil de laiton, portant une pointe en *d* qui plonge dans le godet, se termine d'un côté par un contre-poids, et de l'autre se plie en *defg* depuis *d* jusqu'en *g*, où est un anneau libre de tourner autour du tube de verre, et auquel est fixée une pointe de platine verticale qui plonge dans le godet de bois. Deux conducteurs, l'un *ba* partant de

---

son appareil de rotation représenté dans la fig. 1 de la pl. 8 de son recueil, qui est jointe au Mémoire qu'il a publié dans le tome xx, page 60 et suiv. des *Annales de Chimie*, et dans la *Bibl. univ.* Sc. et Arts, juillet 1822; l'action de la terre ne s'est plus exercée alors que sur les deux branches horizontales, et le mouvement de rotation a eu lieu comme auparavant.

(1) *Voyez* le Mémoire de M. Faraday, cité à la page 273.

l'extrémité inférieure de la tige verticale, l'autre *kl* partant de l'intérieur du godet *hi*, sont fixés parallèlement l'un à l'autre jusqu'en *a* et en *l*, où ils plongent chacun dans une capsule pleine de mercure. Si, après avoir eu soin de mettre du mercure dans le godet de bois *hi*, et dans celui d'acier en *d*, on place les rhéophores dans les capsules *a* et *l*, le courant partant de *a*, par exemple, monte dans la tige *bcd*, parcourt ensuite *de*, redescend en *ef*, et vient par *fg* dans le mercure de la capsule *hi*, d'où il rejoint par *kl* le rhéophore négatif en *l*. Par cette disposition, les deux portions égales et horizontales *ed* et *fg* sont parcourues par le même courant dans un sens différent; elles tendent donc à tourner, chacune avec la même force, dans un sens différent autour de l'axe *bd*; par conséquent leur effet se neutralise, et c'est l'influence de la seule portion verticale *ef* qui décide du mouvement de l'appareil, lequel se place toujours conformément à l'action que nous avons vue ci-dessus être exercée par le globe sur un seul courant vertical.

En résumé, tous les phénomènes connus jusqu'à présent (1), et relatifs à l'influence qu'exerce le globe terrestre sur une portion mobile de circuit voltaïque, peuvent se réduire à ces deux faits, les plus simples et les plus généraux.

---

(1) Je n'entends pas seulement ici les faits dont j'ai fait mention dans ce Mémoire; mais on peut aussi, en admettant les mêmes faits généraux, expliquer tout ce qui est relatif à ce genre d'action, et entre autres, pourquoi certains appareils que M. Ampère a construits, pour avoir des courans indifférens à l'action du globe, se trouvent en effet complètement soustraits à cette action.

Le premier : *Un courant vertical qui ne peut se mouvoir qu'autour d'un axe vertical, tend à se placer de manière que le plan qui l'unit à son axe soit perpendiculaire au méridien magnétique, et à se fixer lui-même à l'ouest s'il est ascendant, à l'est s'il est descendant.*

Le second : *Un courant horizontal tend à se mouvoir, dans toutes les positions où il se trouve parallèlement à lui-même dans un sens ou dans un autre, suivant que sa direction varie.*

Il faudrait actuellement, pour lier ces deux faits, les rattacher à la même cause, ou du moins les rapporter à un fait encore plus général qui les comprît tous deux ; mais ce travail est au-dessus de mes forces ; et d'ailleurs c'est au savant physicien qui honore cette Société de sa présence à nous montrer jusqu'à quel point ils peuvent se concilier avec son hypothèse ingénieuse, d'une ceinture de courans électriques dirigés sur notre globe de l'est à l'ouest vers l'équateur magnétique.

M. Ampère, après avoir reconnu qu'on peut ramener en effet tous les phénomènes relatifs à l'action de la terre sur les courans électriques, aux deux faits généraux que j'ai mentionnés ci-dessus, a montré, par une explication orale, comment ils sont une suite nécessaire de son hypothèse des courans électriques sur le globe, dirigés de l'est à l'ouest. N'ayant pas eu le temps, pendant son séjour à Genève, de rédiger cette explication, il m'en a chargé afin qu'elle suivît immédiatement les faits auxquels elle se rapporte (1).

(1) Comme cette explication de mes idées sur la cause des phénomènes électro-dynamiques, telle qu'elle se trouve dans

Le principe sur lequel repose l'explication de toutes les espèces d'actions qu'exercent entr'eux des courans dont les directions forment des angles, est celui de la décomposition d'une portion très-petite de courant, en deux ou trois autres portions aussi très-petites et perpendiculaires entr'elles, décomposition semblable à celles des forces dans la statique. Ce principe est fondé sur le fait, qu'un conducteur sinueux, de quelque forme qu'il soit, exerce absolument la même action sur un courant rectiligne, qu'un autre conducteur rectiligne parallèle au plan du premier, de même longueur que lui, et traversé par le même courant. Si l'on suppose le plan du conducteur sinueux, et les deux conducteurs rectilignes placés verticalement, en décomposant chaque petite portion du courant sinueux en deux, dont l'une soit verticale et l'autre horizontale, la somme des parties verticales forme le conducteur rectiligne; par conséquent ce sont ces parties seules qui agissent dans ce cas, et l'effet des parties horizontales se détruit par leur action mutuelle.

En partant donc du principe de la décomposition des petites portions de courant, et du fait reconnu de l'at-

---

le Mémoire de M. de La Rive fils, écrite avec autant de clarté que de précision, ne l'a été que d'après une simple conversation et sans que l'auteur connût le travail que j'ai communiqué à l'Académie des Sciences, dans les séances du 10 et du 24 juin 1822, et qui n'a été publié que depuis peu dans le Cahier d'août 1822 des *Annales de Chimie et de Physique* (tome XX, page 398), j'ai cru devoir y faire quelques additions et corrections, afin que cette explication exprimât plus exactement les résultats de mes recherches tant expérimentales que théoriques. AMP.

traction et de la répulsion suivant le sens de leur direction, de deux courans parallèle, on arrive à la conclusion générale qu'il *y a attraction entre deux courans dont les directions forment un angle, toutes les fois qu'ils sont dirigés de manière qu'ils se rapprochent ou s'éloignent tous les deux du sommet de cet angle, et qu'il y a répulsion entr'eux lorsque l'un des courans s'éloigne du sommet et que l'autre s'en approche.* On peut en dire autant de deux courans situés dans l'espace et non sur le même plan; mais, dans ce cas, il faut remplacer le sommet de l'angle par la perpendiculaire qui mesure leur plus courte distance.

Soient AB et AC (fig. 8) deux portions de courans, qui forment entr'elles un angle droit, par exemple, et dont les directions aillent en s'éloignant du sommet A. Prenons sur ces directions deux petites portions *mn* et *pq*; nous pourrons les remplacer, *mn* par deux perpendiculaires *mk* et *kn*, qui forment les deux côtés d'un rectangle, dont *mn* serait la diagonale, et de même *pq* par deux perpendiculaires *pl* et *lq*. L'effet mutuel des portions *mk* et *pl*, dont les courans sont dirigés dans le même sens, est une attraction. M. Ampère, dans une note qu'il a lue à l'Académie royale des Sciences le 24 juin dernier, a déduit des formules qu'il avait données dans un Mémoire lu à la même Académie le 10 juin, que l'action mutuelle des deux petites portions *kn*, *lq*, est aussi attractive, et ce résultat théorique s'est trouvé confirmé par la première des deux expériences nouvelles qui seront décrites à la fin de ce Mémoire (1); enfin, le

(1) Cette expérience prouve directement qu'il y a répulsion entre deux portions de courans électriques dirigés dans

même physicien a montré, dans les notes qu'il a jointes à une notice lue à l'Académie royale des Sciences le 8 avril 1822, que les actions qu'on regarderait comme s'exerçant entre *mk* et *lq*, et entre *pl* et *kn*, sont nécessairement nulles; il suit de là, que, quelles que soient les distances A*m*, A*p*, l'action des deux petites portions *mn*, et *pq*, qui, d'après le principe que nous venons de rappeler, doit être égale à la somme de ces quatre actions, est toujours attractive. En examinant de même l'action de chacune des petites parties d'un même courant sur toutes les portions infiniment petites de l'autre, on verra qu'il en résulte une action totale qui est une attraction. On obtiendrait le même résultat si les courans allaient dans AB et AC, en se portant tous deux vers le sommet A, et un résultat contraire, c'est-à-dire une répulsion, si l'un des courans était dirigé de manière à s'approcher de A, et l'autre de manière à s'en éloigner; ce dont on peut s'assurer par une décomposition analogue à celle qui vient d'être faite.

Je suppose actuellement qu'on cherche à déterminer quelle sera l'action exercée par un courant horizontal EO (fig. 9) sur un courant vertical AB, situé au-dessus de EO et derrière lui. Je mène la perpendiculaire PQ qui mesure la plus courte distance entre EO et le prolongement de AB, et je suppose le courant dirigé de E en O

---

le même sens suivant une même droite; mais comme, en renversant le sens d'un des courans sans rien changer à l'autre, l'attraction se change en répulsion et réciproquement, il s'ensuit qu'il y a nécessairement attraction entre deux portions de courans, qui, telles que *kn* et *ql*, sont dirigées en sens contraire suivant une même droite. Amp.

dans EO, et de B en A dans AB, en sorte que celui-ci aille en s'approchant de EO. En prenant sur EO, à égale distance du point Q, deux petites portions *mn* et *pq*, on voit que la portion *mn* exerce sur la portion *rs* du courant vertical AB une répulsion, puisque le courant dans *mn* s'éloigne de PQ, et qu'il s'en approche dans *rs*; cette répulsion s'exerce suivant la droite *kt*, qui passe par les milieux des deux petites portions, et on peut prendre sur le prolongement de *kt* une droite *tu* qui exprime cette répulsion, en une force qui tire *rs* suivant *tu*; de même la portion *pq* exerce suivant *lt* une attraction sur *rs* égale à la répulsion, puisque les deux courans *mn* et *pq* sont à égale distance de *rs* et de la même intensité, attraction qui peut s'exprimer par la droite *ty* égale à *tu*. La résultante *tx* (1) sera donc la diagonale d'un losange, et par conséquent parallèle à EO, à cause de l'égalité des obliques *kt* et *lt*, etc. Chaque partie du courant AB sera de même sollicitée par une force parallèle à EO, et il sera par conséquent tiré tout entier vers le côté E, d'où vient le courant de EO. Mais si ce courant, tiré par des forces parallèles à EO, ne peut se mouvoir qu'autour d'un axe vertical comme lui, il se placera de manière que son plan soit parallèle au plan vertical passant par EO, et qu'il soit lui-même du côté de E. Si le courant, au lieu d'être dirigé de B en A, l'était de A en B, il se placerait alors du côté O, vers lequel se porte le courant de EO, le plan qui l'unit à son axe

(1) Les directions des forces sont marquées dans la fig. 9 par des flèches sans plumes pour les distinguer des directions des courans.

étant toujours parallèle au plan vertical qui passe par EO.

Si l'on examine l'action d'un courant horizontal EO dirigé de E en O sur un autre courant horizontal AB dirigé de A en B (fig. 10), et situé au-dessus du premier, et derrière lui, on sera conduit aux conclusions suivantes :

1°. Si AB est placé (n° 1) parallèlement à EO, le courant étant dirigé dans le même sens que dans EO, il y a attraction, et AB, qui est mobile, doit s'avancer parallèlement à lui-même, vers EO.

2°. S'il est placé (n° 2) toujours horizontal, de manière à être perpendiculaire au plan vertical qui passe par EO, le courant allant en s'approchant de EO, il s'avancera parallèlement à lui-même vers E, par la même raison que le courant vertical (fig. 9) s'avance vers E, comme on peut s'en assurer par une démonstration semblable.

3°. S'il est placé (n° 3) parallèlement à EO, mais le courant étant dirigé en sens contraire, il y aura répulsion, et AB s'avancera parallèlement à lui-même en s'éloignant de EO.

4°. S'il est placé (n° 4) comme dans le (n° 2), mais le courant étant dirigé de manière à s'éloigner de EO au lieu de s'en approcher, il s'avancera vers O parallèlement à lui-même.

Un observateur placé en C verrait par conséquent le courant horizontal AB s'avancer vers lui dans les quatre positions que je viens de lui donner, et de même par conséquent dans toutes les positions intermédiaires, ce dont on peut s'assurer facilement (1).

(1) En généralisant ces considérations, on parvient aisément à ce résultat :

Le courant AB étant successivement situé sur les différens

Si le courant mobile AB était assujetti à tourner autour d'un axe horizontal comme lui, il se placerait dans les nos 1 et 3, de manière qu'il se trouvât dans un même plan avec cet axe et le courant EO, et qu'il fût situé entre EO et l'axe, quand sa direction serait celle qui est représentée no 1, et du côté de l'axe opposé à EO, quand il serait dirigé comme on le voit no 3; dans les autres azimuths, AB prendrait des positions qu'on pourrait facilement calculer.

L'action qu'exerce le courant fixe EO sur des courans mobiles, soit verticaux, soit horizontaux, se trouve être absolument la même que celle qu'exerce le globe terrestre sur de pareils courans; par conséquent cette dernière peut être attribuée à des courans électriques dirigés de l'est à l'ouest sur le globe, mais d'une intensité beaucoup plus considérable vers l'équateur magnétique, de manière que l'on puisse remplacer le courant EO des fig. 9 et 10 par un courant dirigé de l'est à l'ouest dans cet équateur, et qui produise les effets observés sur les courans mobiles situés dans l'hémisphère septentrional de la surface de la terre.

---

points d'une circonférence décrite autour du point C, et toujours dirigé tangentiellement à cette circonférence, sera, par l'action d'un courant indéfini EO plus éloigné du centre C, porté vers ce centre toutes les fois qu'un observateur qui y serait placé verrait les deux courans se mouvoir autour de lui en sens contraire, l'un de droite à gauche, et l'autre de gauche à droite, et il tendra, par la même action, à s'éloigner de ce centre, toutes les fois que l'observateur placé en C les verrait au contraire se mouvoir autour de lui dans le même sens. AMP.

La supposition du courant dirigé sur le globe de l'est à l'ouest à l'équateur magnétique expliquant les deux faits généraux, rend raison par conséquent de tous les faits particuliers. Il en est un cependant que nous croyons devoir expliquer directement, c'est celui de la rotation continue autour qu'on observe dans un point fixe d'un courant, soit horizontal, soit un peu incliné; rotation semblable à celle d'une aiguille de montre autour de son axe. Soit AB (fig. 11) un fil horizontal, placé d'abord parallèlement à EO, et dont le courant aille de A en B dans la même direction que celui de EO; AB attiré se place dans sa seconde position AB′, où son courant est descendant; poussé alors vers E, comme on l'a vu, il se place en AB″ parallèlement à EO; là le courant étant dirigé dans un sens contraire à celui de EO, il est repoussé et se place en AB‴; dans cette position, le courant se trouve ascendant, il est poussé vers O et il vient se replacer en AB, d'où on l'a supposé partir, et il continue ainsi de suite à tourner autour du point fixe A, en sens contraire de la direction du courant EO, quand le courant mobile AB va en s'éloignant du point A, autour duquel il tourne. Son mouvement continu de rotation aurait lieu dans le sens de la direction du courant EO, si le courant qui parcourt la ligne AB allait, au contraire, en s'approchant du point A.

Pendant son séjour à Genève, M. Ampère, ayant eu l'occasion de faire quelques expériences nouvelles, a desiré que j'en consignasse deux principales et importantes à la suite de ce Mémoire.

La première est une confirmation des vues théoriques

de M. Ampère, qui, par une suite de sa formule, avait été conduit à conclure que deux portions de courant dirigées dans le même sens le long de la même droite, doivent se repousser, ou que toutes les portions d'un même courant doivent se repousser les unes les autres.

En effet, sur un plat ABCD (fig. 12), séparé en deux compartimens égaux par la cloison AC, et remplis chacun de mercure, on place un fil de laiton recouvert de soie, dont les branches *qr*, *pn* peuvent flotter sur le mercure parallèlement à la cloison AC. Les extrémités nues *rs*, *nm* plongent dans le mercure. En mettant les poles dans les capsules E et F, on établit deux courans indépendans l'un de l'autre, dont chacun a pour conducteur une partie de mercure et une partie solide : quelle que soit la direction du courant, on voit toujours les deux fils *rq* et *pn* marcher parallèlement à la cloison AC du côté opposé à celui où il arrive, ce qui indique une répulsion pour chaque fil entre le courant établi dans le mercure et son prolongement dans le fil lui-même. Suivant le sens du courant, le mouvement du fil de laiton est plus ou moins facile, parce que, dans un cas, l'action exercée par le globe sur la portion horizontale *qp* s'ajoute à l'effet obtenu, et que dans l'autre, au contraire, elle le diminue et doit en être retranchée.

La seconde expérience consiste dans l'influence qu'éprouve une lame de cuivre pliée en cercle de la part d'une ceinture de forts courans électriques au milieu desquels elle est suspendue, et qui l'entourent sans la toucher. Cette influence, que M. Ampère avait d'abord crue nulle, a été, à Genève, constatée par lui-même d'une manière très-précise. En présentant à un côté de cette lame un

aimant en fer à cheval, très-fort, on l'a vu tantôt s'avancer entre les deux branches de l'aimant, tantôt au contraire en être repoussé, suivant le sens du courant, dans les conducteurs environnans. Cette expérience importante montre donc que les corps qui ne sont pas susceptibles, au moyen de l'influence des courans électriques, d'acquérir une aimantation permanente, comme le sont le fer et l'acier, peuvent du moins acquérir une sorte d'aimantation passagère pendant qu'ils sont sous cette influence (1).

L'ingénieux appareil de l'auteur de ce Mémoire, et le moyen qu'il a employé pour se procurer un conducteur mobile, rectiligne dans presque toute sa longueur, et propre à observer l'action que la terre exerce sur lui, m'a suggéré l'idée de deux autres conducteurs, sur lesquels, au contraire, cette action est nulle, et qui peuvent tourner tous les deux autour d'un axe vertical par l'action d'un conducteur fixe rectiligne plusieurs fois redoublé, pour vérifier les conséquences de ma théorie, dont il est question à la fin du Mémoire de M. de La Rive fils.

Dans l'un de ces conducteurs, la partie sur laquelle agit principalement le conducteur fixe rectiligne, reste

---

(1) L'instrument dont je me suis servi pour cette expérience est le même que j'avais employé lorsque je l'essayai au mois de juillet 1820; il a été décrit et figuré dans le *Journal de Physique*, et dans ce recueil page 170, il y est représenté pl. 6, fig. 17. AMP.

dans tout son mouvement parallèle à l'axe vertical, en décrivant autour de lui la surface d'un cylindre droit; dans l'autre, la même partie est horizontale, et décrit par conséquent la surface d'un cercle dont le plan est perpendiculaire à cet axe. Ces deux conducteurs sont représentés ici (pl. 9, fig. 13 et 14); leurs extrémités sont terminées par des pointes de platine *l* et *v*, destinées à plonger dans le mercure que contiennent deux canaux circulaires de même rayon (1), disposés comme les canaux ABCD, *abcd* (fig. 1) de l'appareil de M. de La Rive fils, à cela près, que le canal supérieur *abcd*, au lieu d'être creusé dans un plateau circulaire porté sur un pied SO qui en occupe inférieurement le centre, l'est dans une couronne attachée par sa circonférence extérieure à une potence, ce qui laisse entièrement libre l'espace vide qui se trouve autour de ce centre.

Un pied vertical, correspondant aux centres des deux canaux, se termine par une coupe un peu moins élevée que le milieu de l'intervalle qui sépare ces deux canaux. Cette coupe est garnie à son fond d'un petit plan de verre sur lequel reposent les pointes *k* (fig. 13 et 14) des deux conducteurs mobiles; ce plan de verre rend presque nul le frottement de la pointe, et il n'empêche pas de la faire communiquer quand on le veut avec la coupe, en mettant dans celle-ci une quantité suffisante de mercure. On

(1) J'ai remarqué que plus ces canaux sont larges, plus l'appareil est mobile, parce que le frottement du mercure contre les bords des canaux en a d'autant moins d'effet sur son mouvement. Il faut aussi avoir soin que le mercure soit très-pur.

a soin de souder une autre coupe au bas du pied qui la supporte, pour y faire passer, dans ce cas, le courant électrique.

On a vu, dans l'addition relative à ma théorie, jointe au Mémoire précédent par M. de La Rive fils, que, d'après cette théorie comme d'après ses expériences, il faut, pour que les actions exercées par la terre sur les deux portions d'un conducteur mobile tournant autour d'un axe vertical se fassent équilibre quand elles sont égales et à égales distances de cet axe, que dans le cas où ces portions sont horizontales, le courant en parcourt une en s'approchant de l'axe et l'autre en s'en éloignant, et que dans le cas où elles sont verticales, le courant aille en montant dans l'une et en descendant dans l'autre, lorsqu'elles sont du même côté de l'axe, et en montant ou en descendant dans toutes les deux, lorsqu'elles sont placées de deux côtés opposés de cet axe; il est aisé de conclure de là que dans le premier de ces conducteurs, où le fil de cuivre est plié suivant la ligne brisée *lnopqrstuv* (fig. 13), l'action exercée par la terre sera nulle quand les trois portions *ln*, *qr*, *uv*, étant à la même distance de l'axe, la première sera égale à la somme des deux autres; et que dans l'autre conducteur, où le même fil est plié suivant *lmnpqrstuv* (fig. 14), il y aura encore équilibre, pourvu que les deux portions *lm*, *uv*, et les deux portions *np*, *qr*, soient égales et à égales distances de l'axe. Ces conditions d'équilibre sont relatives à l'action directrice de la terre sur les portions verticales. Quant à son action sur les portions horizontales pour faire tourner le conducteur mobile toujours dans le même sens, elle est évidemment nulle toutes les fois que la

somme de celles de ces portions où le courant va en s'approchant de l'axe, est égale à la somme des portions horizontales où il va en s'en éloignant, c'est-à-dire, toutes les fois que les deux extrémités *l*, *v* (fig. 13 et 14) sont dans une même verticale, ce qui a lieu dans les deux conducteurs mobiles que nous décrivons ici.

Le conducteur fixe rectiligne, placé dans une direction perpendiculaire au rayon du cercle décrit par le point *l*, et un peu en dehors de ce cercle, n'agira sensiblement que sur la partie verticale *ln* (fig. 13) du premier conducteur, lorsqu'on emploiera ce conducteur, et, quand on se servira du second, que sur sa partie horizontale *mn* (fig. 14), à cause de la petitesse de la portion *lm* dans ce dernier cas, et de la grande distance du conducteur fixe aux autres parties des conducteurs mobiles dans les deux cas. On peut remarquer que le courant allant toujours en montant dans l'une des extrémités du conducteur mobile, et en descendant dans l'autre, et ces deux extrémités étant verticales et situées du même côté de l'axe, on ne troublerait pas l'équilibre entre les actions exercées par la terre, en les diminuant toutes deux d'une même quantité, en sorte que l'équilibre subsiste, quelles que soient les longueurs des portions des pointes de platine *l* et *v* qu'on plonge dans le mercure, pourvu que ces longueurs soient égales.

Il faut avoir soin de joindre aux conducteurs mobiles des contre-poids *w* (fig. 13 et 14) suspendus à des tiges verticales *zw*, tant pour donner aux conducteurs mobiles une stabilité suffisante sur les pointes *k*, que pour obvier à l'inégalité des poids des parties de ces conducteurs qui se trouvent à droite et à gauche du point de suspension;

cette inégalité est très-petite dans le conducteur mobile de la fig. 13, mais elle est très-grande dans celui de la fig. 14. C'est pourquoi le contre-poids du conducteur de la fig. 13 est plus rapproché de l'axe que celui du conducteur de la fig. 14; ce dernier est toujours assez lourd pour que le conducteur soit stable, mais le premier a besoin, pour l'être, que son contre-poids ne se trouve qu'à une petite distance de l'axe. Je destine ces conducteurs à constater par l'expérience les actions que doit exercer sur eux, d'après les lois des phénomènes électro-dynamiques que j'ai déterminées en 1820, un conducteur fixe rectiligne plusieurs fois redoublé. On a vu, dans le Mémoire précédent, qu'elles consistent en une action directrice sur la partie verticale *ln* du conducteur mobile de la figure 13, qui tend à l'amener dans une position déterminée, et en une action révolutive sur la partie horizontale *mn* du conducteur mobile de la figure 14, dont l'effet est de le faire tourner toujours dans le même sens. Je me propose aussi d'observer, au moyen de ces deux conducteurs mobiles, l'action répulsive que le courant électrique du mercure du canal inférieur de l'appareil doit exercer sur eux, en faisant arriver le courant dans ce canal par un autre canal rectiligne également plein de mercure, et dirigé, suivant la tangente à la circonférence du premier canal, au point de jonction des deux canaux.

Dans les expériences relatives à l'action du conducteur fixe rectiligne, on peut, après avoir enlevé ce conducteur et fait écouler le mercure du canal supérieur, mettre en communication avec la pile, de la manière indiquée plus haut, le pied sur lequel tournent les conducteurs

mobiles ; cette communication ayant lieu alors par la pointe *k* d'une part, et par le canal inférieur de l'autre, le courant ne parcourt plus que la moitié inférieure des conducteurs mobiles, la terre agit sur elle, et l'on voit sur-le-champ que son action est précisément celle qui résulterait du conducteur fixe rectiligne dans le cas où il serait placé au sud de l'appareil, dans une direction perpendiculaire au méridien magnétique, et allant de l'est à l'ouest.

Depuis que ceci est écrit, j'ai fait avec ces conducteurs les expériences auxquelles je les avais destinés ; les résultats ont été ceux que j'attendais d'après la théorie : mais la résistance du mercure rend ces expériences assez difficiles, il faut recouvrir la surface du mercure d'eau acidulée, frapper sur l'appareil quand on voit le conducteur mobile s'arrêter et employer une très-forte pile. L'intensité du courant électrique produit par celle dont je me servais ayant fondu ou brûlé les pointes en platine *lv*, je n'ai réussi comme je le désirais qu'en les remplaçant par des lames minces du même métal, dont les plans étaient perpendiculaires à celui du conducteur mobile auquel ces lames étaient adaptées, pour qu'elles n'éprouvassent pas une trop grande résistance de la part du mercure. Les conducteurs à couronnes métalliques plongées dans de l'eau acidulée étant préférables à tous égards à ceux où l'on emploie le mercure, je me propose de faire construire un appareil représenté dans la planche 10, figure 1, dont les deux couronnes *ABC*, *abc*, sont unies par deux baguettes de bois verni *Ee*, *Ff*, et dont les deux vases de cuivre *GHI*, *ghi*, où elles plongent, communiquent entre eux par le tube de cuivre

KL, et, quand on le veut, avec la pile par la coupe *O*; dans l'espace vide qui se trouve autour du centre de ces deux vases, sont deux vases semblables, mais beaucoup plus petits et pleins de mercure *MN*, *mn*, dont les bords sont de niveau avec les leurs. Ces derniers peuvent, à volonté, être mis en communication avec la pile par les coupes *P*, *Q*, les coupes *R*, *S*, servant à la faire communiquer avec deux autres vases *ZW*, *zw*, également pleins de mercure, et les trois tubes *KL*, *ST*, *UV* étant séparés les uns des autres et de la tige *XY* par des enveloppes de soie vernie (1).

---

(1) Il est aisé de voir d'après la disposition des fils de cuivre *ND*, *nd*, et *dklpq*, dont le dernier est maintenu par deux branches de matière isolante *rl*, *ksq*, et qui plongent dans le mercure des petits vases *MN*, *mn*, *ZW*, *zw*, par les lames de platine *u*, *v*, *x*, *y*, placées à égale distance de l'axe *sq*, que si l'on plonge les rhéophores dans le mercure des coupes *O*, *Q*, on aura dans *nd* un courant horizontal soumis à l'action de la terre, qu'en les plongeant dans celui des coupes *P*, *Q*, le même courant sera soustrait à cette action, parce que la terre en exercera une égale et opposée sur le courant qui s'établira alors dans *ND*, que les communications avec la pile étant établies par les coupes *P*, *R*, le courant vertical *dk* sera soumis à l'action de la terre et cessera de l'être quand on fera plonger les rhéophores dans les coupes *P*, *S*. Il est presqu'inutile d'ajouter que quand on soustrait, comme je viens de le dire, les courans *nd*, *dk*, à l'action de la terre, c'est pour faire agir sur eux un conducteur rectiligne, horizontal et plusieurs fois redoublé, situé au niveau des bords du vase *ghi*, et très-près de ces bords.

SECOND MÉMOIRE.

SUR *la Détermination de la formule qui représente l'action mutuelle de deux portions infiniment petites de conducteurs voltaïques.*

(Lu à l'Académie royale des Sciences, le 10 juin 1822.)

LORSQU'ON vient à découvrir un nouveau genre d'action jusqu'alors inconnu, le premier objet du physicien doit être de déterminer les principaux phénomènes qui en résultent, et les circonstances où ils se produisent; il reste ensuite à trouver le moyen d'y appliquer le calcul en représentant par des formules la valeur des forces qu'exercent les unes sur les autres les particules des corps où ce genre d'action se manifeste. Dès que j'eus reconnu que deux conducteurs voltaïques agissaient l'un sur l'autre, tantôt en s'attirant, tantôt en se repoussant, et que j'eus distingué et décrit les actions qu'ils exercent dans les différentes situations où ils peuvent se trouver l'un à l'égard de l'autre, je cherchai à exprimer de cette manière la valeur de la force attractive ou répulsive de deux de leurs élémens ou parties infiniment petites, afin de pouvoir en déduire, par les méthodes connues d'intégration, l'action qui a lieu entre deux portions de conducteurs données de forme et de situation.

L'impossibilité de soumettre directement à l'expérience des portions infiniment petites du circuit voltaïque oblige

(1) Ann. Ch. u Phys. XX p. 398-419.

nécessairement à partir d'observations faites sur des fils conducteurs de grandeur finie, et il faut satisfaire à ces deux conditions que les observations soient susceptibles d'une grande précision, et qu'elles soient propres à déterminer la valeur de l'action mutuelle de deux portions infiniment petites. C'est ce qu'on peut obtenir de deux manières : l'une consiste à mesurer avec la plus grande exactitude des valeurs de l'action mutuelle de deux portions d'une grandeur finie, en les plaçant successivement, l'une par rapport à l'autre, à différentes distances et dans différentes positions; car il est évident qu'ici l'action ne dépend pas seulement de la distance; il faut ensuite faire une hypothèse sur la valeur de l'action mutuelle de deux portions infiniment petites, en conclure celle de l'action qui doit en résulter pour les conducteurs de grandeur finie sur lesquels on a opéré, et modifier l'hypothèse jusqu'à ce que les résultats du calcul s'accordent avec ceux de l'observation. C'est ce procédé que je m'étais d'abord proposé de suivre, comme je l'ai expliqué en détail dans un Mémoire lu à l'Académie des Sciences le 9 octobre 1820 (1); et quoiqu'il ne nous conduise à la vérité que par la voie indirecte des hypothèses, il n'en est pas moins précieux, puisqu'il est souvent le seul qui puisse être employé dans les recherches de ce genre. Un des membres de cette Académie, dont les travaux ont embrassé toutes les parties de la physique, l'a parfaitement décrit dans la Notice *sur l'aimantation imprimée*

(1) Ce Mémoire n'a pas été publié à part, mais les principaux résultats en ont été insérés dans celui que j'ai publié, en 1820, dans le tome XV des *Annales de Chimie et de Physique*.

aux métaux par l'électricité en mouvement, qu'il nous a lue le 2 avril 1821, en l'appelant « un travail en quel- » que sorte de divination qui est la fin de presque toutes » les recherches physiques (1). »

Mais il existe une autre manière d'atteindre plus directement le même but, c'est celle que j'ai suivie depuis, et qui m'a conduit au résultat que je désirais; elle consiste à constater par l'expérience que les parties mobiles des conducteurs sont, en certains cas, exactement en équilibre entre des forces égales ou des momens de rotation égaux, quelle que soit d'ailleurs la forme de la partie mobile, et de chercher directement, à l'aide du calcul, quelle doit être la valeur de l'action mutuelle de deux portions infiniment petites, pour que l'équilibre soit en effet indépendant de la forme de la partie mobile.

C'est ainsi que j'ai déterminé cette valeur en combinant deux expériences de ce genre; l'une que j'ai décrite dans un Mémoire lu à l'Académie le 26 décembre 1820, et dans ce recueil, pag. 216 et suiv.; l'autre dont je viens de constater le résultat avec toute l'exactitude possible.

Ce dernier procédé ne peut être employé que quand la nature de l'action qu'on étudie donne lieu à des cas d'équilibre indépendans de la forme des corps; il est par conséquent beaucoup plus restreint dans ses applications que celui dont j'ai parlé tout-à-l'heure; mais puisque les conducteurs voltaïques présentent des circonstances où cette sorte d'équilibre a lieu, il est naturel de le préférer à tout autre comme plus direct et plus simple. Il y a d'ailleurs, à l'égard de l'action exercée par ces

---

(1) *Voyez* le *Journal des Savans*, avril 1821, page 233.

corps, un motif bien plus décisif encore de le suivre dans les recherches relatives à la détermination des forces qui la produisent, c'est l'extrême difficulté des expériences où l'on se proposerait, par exemple, de mesurer ces forces par le nombre des oscillations d'un corps soumis à leur action; cette difficulté vient de ce que quand on fait agir un conducteur fixe sur une portion mobile du circuit voltaïque, les parties de l'appareil nécessaire pour établir les communications de cette portion mobile agissent sur elle en même temps que le conducteur fixe, et altèrent ainsi les résultats des expériences: je crois cependant être parvenu à la surmonter dans un appareil propre à mesurer l'action mutuelle de deux conducteurs circulaires concentriques, l'un fixe et l'autre mobile, par le nombre des oscillations de ce dernier, et en faisant varier la distance par l'emploi de différens conducteurs fixes, dans lesquels on ferait passer successivement le courant électrique. Je décrirai ailleurs cet appareil, que je n'ai point encore fait exécuter.

Il est vrai qu'on ne rencontre pas les mêmes obstacles quand on mesure de la même manière l'action d'un fil conducteur sur un aimant; mais ce moyen ne peut être employé quand il s'agit de l'action que deux conducteurs voltaïques exercent l'un sur l'autre, et qui doit être le premier objet de nos recherches dans l'étude des nouveaux phénomènes. En effet, les expériences que j'ai communiquées à l'Académie au mois de décembre dernier ont prouvé que l'hypothèse par laquelle les physiciens de la Suède et de l'Allemagne avaient cru pouvoir expliquer l'action que j'ai découverte entre deux

fils conducteurs, en les considérant comme des assemblages de petits aimans situés dans des directions perpendiculaires à leur longueur, est en opposition avec les faits, puisque deux assemblages d'aimans ainsi disposés, quelque forme qu'on leur donne, ne peuvent, ni d'après la théorie ordinaire des phénomènes magnétiques, ni d'après celle que j'ai cru devoir lui substituer, ni d'après des expériences variées que j'ai faites à ce sujet il y a quelques mois, produire le mouvement continu toujours dans le même sens, et la production de force vive qui se manifeste alors, d'où il suit nécessairement qu'il faut ou regarder l'action découverte par M. OErsted entre un conducteur voltaïque et un aimant comme tout-à-fait indépendante de celle que j'ai reconnue entre deux fils conducteurs, ou l'y ramener en considérant, ainsi que je l'ai fait, non pas les conducteurs comme des assemblages d'aimans transversaux, mais au contraire les aimans comme devant leurs propriétés à une disposition de l'électricité autour de chacune de leurs particules, identique à celle de l'électricité dans les fils conducteurs (1),

(1) Il semble d'abord singulier que les mêmes faits qui s'opposent absolument à ce qu'on attribue à l'aimantation transversale toutes les propriétés des conducteurs voltaïques ne s'opposent pas à ce qu'on explique toutes celles des aimans en les considérant comme des assemblages de courans électriques; j'ai expliqué la cause de cette différence dans un exposé sommaire des progrès de cette branche de la physique pendant l'année 1821, que j'ai lu à la séance publique de l'Académie du 8 avril 1822, et qui a été inséré dans le Cahier de février 1822 du *Journal de Physique*, p. 199 et suiv. de ce recueil; elle vient de ce que, dans la première hypo-

disposition que j'ai désignée sous le nom de *courant électrique*, comme l'ont fait la plupart des physiciens qui ont écrit sur ce sujet : or, il est clair que si l'action d'un fil conducteur sur un aimant était due à une autre cause que celle qui a lieu entre deux conducteurs, les expériences faites sur la première ne pourraient rien apprendre relativement à la seconde, et que si les aimans ne doivent leurs propriétés qu'à des courans électriques

---

thèse, on devrait nécesairement pouvoir imiter, en employant seulement des aimans disposés convenablement, tous les phénomènes produits par l'action mutuelle de deux conducteurs, ce qui n'a pas lieu à l'égard du mouvement continu toujours dans le même sens, qu'on ne peut obtenir qu'avec deux conducteurs ou avec un conducteur et un aimant; tandis que, dans ma manière de concevoir l'action magnétique, les courans électriques qui entourent chaque particule d'un aimant formant des circuits fermés, on ne doit pouvoir remplacer un conducteur voltaïque par un ou plusieurs aimans qu'à l'égard des phénomènes que le conducteur produit également, soit qu'il forme ou non un circuit fermé : or, dans l'expérience où j'ai obtenu le mouvement toujours dans le même sens par l'action mutuelle de deux fils conducteurs, il faut nécessairement, comme je l'expliquerai ailleurs plus en détail, que l'un d'eux ne forme pas un circuit complètement fermé; d'où il suit qu'on peut encore obtenir, comme M. Faraday l'a fait le premier, ce singulier mouvement, en employant un aimant à la place de l'autre conducteur, mais jamais en remplaçant les deux conducteurs par des aimans; ce qui s'observe en effet dans les expériences que j'ai faites à ce sujet, et que chacun peut aisément répéter.

entourant chacune de leurs particules, il faudrait, pour pouvoir calculer les effets qu'ils doivent produire, que l'on sût s'ils ont la même intensité près de la surface de l'aimant et dans son intérieur, ou suivant quelle loi varie cette intensité; si les plans de ces courans sont par-tout perpendiculaires à l'axe du barreau aimanté, comme je l'avais d'abord supposé, ou si l'action mutuelle des courans d'un même aimant leur donne une situation d'autant plus inclinée à cet axe qu'ils en sont à une plus grande distance, et qu'ils s'écartent davantage de son milieu, comme le prouve la différence qu'on remarque entre la situation des poles d'un aimant et celles des points qui jouissent des mêmes propriétés dans un fil conducteur roulé en hélice (1).

---

(1) Je crois devoir insérer ici la note suivante, qui est extraite de l'*Analyse des travaux de l'Académie* pendant l'année 1821, publiée le 8 avril 1822. (*Voyez* la partie mathématique de cette Analyse, pages 22 et 23.)

La principale différence entre la manière d'agir d'un aimant et d'un conducteur voltaïque, dont une partie est roulée en hélice autour de l'autre, consiste en ce que les poles du premier sont situés plus près du milieu de l'aimant que ses extrémités, tandis que les points qui présentent les mêmes propriétés dans l'hélice sont exactement placés à ses extrémités : c'est ce qui doit arriver quand l'intensité des courans de l'aimant va en diminuant de son milieu vers ses extrémités. Mais M. Ampère a reconnu depuis une autre cause qui peut aussi déterminer cet effet. Après avoir conclu de ses nouvelles expériences que les courans électriques d'un aimant existent autour de chacune de ses particules, il lui a

C'est donc par l'observation des cas d'équilibre indépendans de la forme des conducteurs qu'il convient de déterminer la force dont nous cherchons la valeur. J'en ai reconnu trois : le premier consiste dans l'égalité des valeurs absolues de l'attraction et de la répulsion qu'on produit en faisant passer alternativement, en deux sens opposés, le même courant dans un conducteur fixe dont on ne change ni la situation ni la distance au corps sur

---

été aisé de voir qu'il n'est pas nécessaire de supposer, comme il l'avait fait d'abord, que les plans de ces courans sont partout perpendiculaires à l'axe de l'aimant; leur action mutuelle doit tendre à donner à ces plans une situation inclinée à l'axe, surtout vers ses extrémités, en sorte que les poles, au lieu d'y être exactement situés, comme ils devraient s'y trouver, d'après les calculs déduits des formules données par M. Ampère, lorsqu'on suppose tous les courans de même intensité et dans des plans perpendiculaires à l'axe, doivent se rapprocher du milieu de l'aimant d'une partie de sa longueur d'autant plus grande, que les plans d'un plus grand nombre de courans sont ainsi inclinés et qu'ils le sont davantage, c'est-à-dire, d'autant plus que l'aimant est plus épais relativement à sa longueur, ce qui est conforme à l'expérience. Dans les fils conducteurs pliés en hélice, et dont une partie revient par l'axe pour détruire l'effet de la partie des courans de chaque spire, qui agit comme s'ils étaient parallèles à l'axe, les deux circonstances qui, d'après ce que nous venons de dire, n'ont pas nécessairement lieu dans les aimans, existent au contraire nécessairement dans ces fils; aussi observe-t-on que les hélices ont des poles semblables à ceux des aimans, mais placés exactement à leurs extrémités, comme le donne le calcul.

lequel il agit. Cette égalité résulte de la simple observation que deux portions égales d'un même fil conducteur recouvertes de soie pour en empêcher la communication, tordues ensemble de manière à former l'une autour de l'autre deux hélices dont toutes les parties sont égales, et parcourues par un même courant électrique l'une dans un sens et l'autre en sens contraire, n'exercent aucune action, soit sur un conducteur mobile, soit sur un aimant; on peut aussi la constater à l'aide du conducteur mobile qu'on voit dans la figure 9 de la planche première du tome XVIII des *Annales de Chimie et de Physique*, relative à la description d'un de mes appareils électro-dynamiques, et qui est représenté ici (pl. 10, fig. 2). On place pour cela un peu au-dessous de la partie inférieure $dee'd'$ de ce conducteur, et dans une direction quelconque, un conducteur rectiligne horizontal plusieurs fois redoublé AB, de manière que le milieu de sa longueur et de son épaisseur soit dans la verticale qui passe par la pointe x et autour de laquelle tourne librement le conducteur mobile. On voit alors que ce conducteur reste dans la situation où on le place; ce qui prouve qu'il y a équilibre entre les actions exercées par le conducteur fixe sur les deux portions égales et opposées de circuit voltaïque $bcde$, $b'c'd'e'$, qui ne diffèrent que parce que, dans l'une, le courant électrique va en s'approchant du conducteur fixe AB, et dans l'autre, en s'en éloignant, quel que soit d'ailleurs l'angle formé par la direction de ce dernier conducteur avec le plan du conducteur mobile : or, si l'on considère d'abord les deux actions exercées entre chacune de ces portions de circuit voltaïque et la moitié du conducteur

AB dont elle est la plus voisine, et ensuite les deux actions entre chacune d'elles et la moitié du même conducteur dont elle est la plus éloignée, on verra aisément, 1°. que l'équilibre dont nous venons de parler ne peut avoir lieu pour toutes les valeurs de cet angle, qu'autant qu'il y a séparément équilibre entre les deux premières actions et les deux dernières; 2°. que si l'une des deux premières est attractive parce que les côtés de l'angle aigu formé par les portions de conducteur entre lesquelles elle a lieu sont parcourus dans le même sens par le courant électrique, l'autre sera répulsive parce qu'elle aura lieu entre les deux côtés de l'angle égal opposé au sommet, qui sont parcourus en sens contraires par le même courant, en sorte qu'il faudra d'abord, pour qu'il y ait équilibre entre elles, que cette attraction et cette répulsion qui tendent à faire tourner le conducteur mobile, l'une dans un sens et l'autre dans le sens opposé, soient égales entre elles; et ensuite que les deux dernières actions, l'une attractive et l'autre répulsive, qui s'exercent entre les côtés des deux angles obtus opposés au sommet qui sont les supplémens des premiers, soient aussi égales entre elles. Il est inutile de remarquer que ces actions sont réellement les sommes des produits des forces qui agissent sur chaque portion infiniment petites du conducteur mobile, multipliées par leur distance à la verticale autour de laquelle il peut librement tourner; mais comme les distances à cette verticale des portions infiniment petites correspondantes des deux branches *bcde*, *b′c′d′e′*, sont toujours égales entre elles, l'égalité des momens rend nécessaire celle des forces.

Le second des trois cas généraux d'équilibre est celui

que j'ai remarqué à la fin de l'année 1820 ; il consiste dans l'égalité d'action, sur un conducteur rectiligne mobile, de deux conducteurs fixes, situés à égales distances du conducteur mobile, l'un rectiligne et l'autre plié et contourné d'une manière quelconque, quelles que soient d'ailleurs les sinuosités formées par ce dernier. On peut voir, dans les Notes sur l'exposé sommaire des expériences électro-dynamiques (1), faites par différens physiciens en 1821 (pag. 216 et suiv. de ce recueil), la description de l'appareil avec lequel j'ai vérifié cette égalité d'action par des expériences susceptibles d'une grande précision. J'ai démontré, dans un Mémoire lu, le 4 décembre 1820, à l'Académie des Sciences, en partant de ce fait ainsi constaté, que si l'on nomme ρ une fonction des trois angles qui déterminent la situation respective de deux portions infiniment petites de courans électriques, proportionnelle à la force qu'elles exercent l'une sur l'autre à une distance déterminée, lorsqu'on fait varier cette situation et qu'on désigne ces trois angles par α, β, γ ; α et β étant ceux que les directions des deux petites portions forment avec la ligne qui en joint les milieux, et γ l'inclinaison mutuelle des plans de ces deux angles ; la fonction ρ sera nécessairement de la forme

$$\sin.\,\alpha\,\sin.\,\beta\,\cos.\,\gamma + k\,\cos.\,\alpha\,\cos.\,\beta,$$

(1) *Voyez* ce que j'ai dit sur la préférence que j'ai donnée à cette dénomination : *expériences électro-dynamiques*, dans les notes qui sont au bas des pages 200 et 237 de ce recueil.

k étant un coefficient constant (1). Il me restait à déterminer la valeur de ce coefficient ; je n'y réussis pas dans le temps, je vis seulement, d'après des expériences que j'ai communiquées à l'Académie le 11 décembre 1820, que cette valeur paraissait être d'autant plus petite que les expériences que je faisais pour la déterminer étaient plus exactes. Comme je ne soupçonnais pas alors que cette valeur fût négative, j'en conclus seulement qu'elle pouvait être regardée comme nulle. J'ai trouvé depuis un troisième cas d'équilibre indépendant de la forme du fil conducteur, d'où résulte une relation entre k et l'exposant de la puissance de la distance de deux portions infiniment petites de courans électriques, à laquelle leur action mutuelle est réciproquement proportionnelle quand cette distance varie. La description de l'appareil avec lequel j'ai constaté ce nouveau cas d'équilibre, et le calcul par lequel j'en ai conclu la relation dont je viens de parler, sont le principal objet du Mémoire que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie. Mais comme ce calcul ne peut se faire qu'à l'aide d'une transformation par laquelle j'ai exprimé la fonction des trois angles α, β, γ, que je viens de nommer ρ, en différentielles partielles de la distance des deux portions infiniment petites de courans électriques que l'on considère, je crois devoir d'abord expliquer cette transformation.

---

(1) La quantité que je représente ici par k est désignée par $\frac{m}{n}$ dans le Cahier de septembre du *Journal de Physique*, année 1820, où j'ai inséré la démonstration dont il est ici question, et qu'on trouve avec plus de détail dans ce recueil, page 225.

Soit BM et $B'M'$ (pl. 8, fig. 14), deux lignes représentant des fils conducteurs, et qui seront en général deux courbes à double courbure; supposons que s et s' représentent les arcs BM et $B'M'$, comptées depuis les points fixes B et B', $Mm = ds$, $M'm' = ds'$, seront deux portions infiniment petites de ces conducteurs, et leurs directions seront déterminées par les deux tangentes MT et $M'T'$: en nommant r la distance MM', r sera évidemment une fonction des deux variables indépendantes s et s' ; si l'on abaisse des points m, m', les perpendiculaires me, $m'e'$, sur MM', qui pourront être considérées comme de petits arcs de cercles décrits respectivement des centres M' et M, et qu'on prenne les angles α et β, de manière qu'ils aient leur ouverture tournée du même côté, comme je l'ai supposé dans le calcul de la valeur de ρ, l'angle α étant pris, par exemple, entre la direction MT de Mm et le prolongement MK de $M'M$, et l'angle β entre la direction $M'T'$ de $M'm'$ et la ligne $M'M$ elle-même, on aura ces deux équations :

$$\cos. \alpha = \frac{dr}{ds},$$

$$\cos. \beta = -\frac{dr}{ds'},$$

parce que le point M' reste fixe quand s varie seul dans la fonction r, et le point M quand c'est s'; on tire de là,

$$\cos. \alpha \cos. \beta = -\frac{dr}{ds} \cdot \frac{dr}{ds'} \text{ (1)}.$$

---

(1) On trouverait :

$$\cos. \alpha \cos. \beta = \frac{dr}{ds} \cdot \frac{dr}{ds'},$$

si l'on prenait pour α et β les angles $M'MT$, $MM'T'$, dont

En différenciant la valeur de cos. β par rapport à s, on trouve :

$$\frac{d\beta}{ds}\sin.\beta = \frac{d^2 r}{ds\,ds'};$$

mais quand le point M est transporté en m et que s devient par conséquent $s+ds$, l'angle β diminue évidemment, tant que l'angle γ des deux plans MMT', $MM'T'$, est aigu, d'une quantité qui est la projection de l'angle $MM'm$ sur le plan $MM'T'$; et comme cet angle est infiniment petit, on a :

$$d\beta = -MM'm\cos.\gamma;$$

valeur qui s'applique aussi au cas où γ est un angle obtus, parce qu'alors β augmente avec s.

Mais l'angle $MM\,m$ a pour mesure :

$$\frac{me}{M'M} = \frac{ds\sin.\alpha}{r};$$

ainsi,

$$\frac{d\beta}{ds} = -\frac{\sin.\alpha\cos.\gamma}{r},$$

d'où il suit que :

$$\sin.\alpha\sin.\beta\cos.\gamma = -r\frac{d^2 r}{ds\,ds'}.$$

---

les ouvertures sont tournées en sens contraires; mais le résultat du calcul ne serait point changé parce que ce changement de signe de cos. α cos. β entraînerait celui de la valeur de k quand on déterminerait k, et donnerait par conséquent la même valeur pour

$$\sin.\alpha\sin.\beta\cos.\gamma + k\cos.\alpha\cos.\beta.$$

En substituant ces valeurs de $\sin.\ \alpha\ \sin.\ \beta\ \cos.\ \gamma$ et de $\cos.\ \alpha\ \cos.\ \beta$ dans celle de ρ, on obtient :

$$\rho = -\left(r\frac{d^2 r}{ds\, ds'} + k\frac{dr}{ds}\cdot\frac{dr}{ds'}\right) =$$

$$-r^{1-k}\left(r^k\ \frac{d^2 r}{ds\, ds'} + k r^{k-1}\frac{dr}{ds}\cdot\frac{dr}{ds'}\right) =$$

$$-r^{1-k}\ \frac{d\left(r^k\frac{dr}{ds}\right)}{ds} = -\frac{r^{1-k}}{1+k}\cdot\frac{d^2(r^{1+k})}{ds\, ds'}.$$

Comme c'est la quantité

$$\sin.\ \alpha\ \sin.\ \beta\ \cos.\ \gamma + k\cos.\ \alpha\ \cos.\ \beta,$$

que nous avons représentée par ρ, on a cette formule de trigonométrie analytique qui pourrait peut-être recevoir d'autres applications :

$$\sin.\ \alpha\ \sin.\ \beta\ \cos.\ \gamma + k\cos.\ \alpha\ \cos.\ \beta = -\frac{r^{1-k}}{1+k}\cdot\frac{d^2(r^{1+k})}{ds\, ds'}.$$

Si l'on y suppose $k = 1$, elle devient :

$$\sin.\ \alpha\ \sin.\ \beta\ \cos.\ \gamma + \cos.\ \alpha\ \cos.\ \beta = -\frac{d^2\left(\frac{r^2}{2}\right)}{ds\, ds'};$$

et si l'on représente par x, y, z, trois coordonnées rectangulaires du point M, et par x', y', z', celles du point M' rapportées aux mêmes axes, x, y, z, varieront seules avec s, et x', y', z' avec s', d'où il suit, à cause de

$$\frac{r^2}{2} = \frac{(x'-x)^2 + (y'-y)^2 + (z'-z)^2}{2},$$

que

$$\frac{d\left(\frac{r^2}{2}\right)}{ds'} = (x'-x)\,\frac{dx'}{ds'} + (y'-y)\,\frac{dy'}{ds'} + (z'-z)\,\frac{dz'}{ds'},$$

et que

$$\frac{d^2\left(\frac{r^2}{2}\right)}{ds\,ds'} = -\frac{dx}{ds}\,\frac{dx'}{ds'} - \frac{dy}{ds}\,\frac{dy'}{ds'} - \frac{dz}{ds}\,\frac{dz'}{ds'};$$

on aura donc :

$$\sin.\alpha \sin.\beta \cos.\gamma + \cos.\alpha \cos.\beta = \frac{dx}{ds}\,\frac{dx'}{ds'} + \frac{dy}{ds}\,\frac{dy'}{ds'} + \frac{dz}{ds}\,\frac{dz'}{ds'},$$

qui est évidemment la valeur du cosinus de l'angle formé par les directions de Mm et de $M'm'$; le cosinus de cet angle se trouve ainsi égal à

$$\sin.\ \alpha\ \sin.\ \beta\ \cos.\ \gamma + \cos.\ \alpha\ \cos.\ \beta\,;$$

ce qui est d'ailleurs évident par le principe fondamental de la trigonométrie sphérique.

Si l'on nomme i et i' les actions exercées à la distance 1 dans la situation où

$$\alpha = \beta = \frac{\pi}{2} \text{ et } \gamma = 0,$$

ce qui donne $\rho = 1$, par deux portions des fils conducteurs BM et $B'M'$ égales à l'unité de longueur, sur une portion égale à la même unité d'un troisième conducteur dont l'énergie électro-dynamique soit prise pour l'unité des énergies respectives des divers conducteurs, et qu'on désigne par n l'exposant de la puissance de la distance de deux portions infiniment petites de conducteurs, à laquelle leur action mutuelle est réciproquement proportionnelle quand cette distance varie seule,

il sera aisé de voir, d'après ce que j'ai donné sur ce sujet dans le Cahier de septembre du *Journal de Physique* et dans ce Recueil, pag. 225 et suivantes, que les intensités d'action des deux petites portions de conducteurs que j'ai nommées g et h dans la note du *Journal de Physique*, seront représentées ici, à cause que leurs longueurs sont ds et ds', par $i\,ds$ et $i'\,ds'$, et que leur action mutuelle le sera par

$$\frac{\rho\, i\, i'\, ds\, ds'}{r^n},$$

l'exposant n étant égal à 2, si cette action est, toutes choses égales d'ailleurs, en raison inverse du carré de la distance, comme je l'ai admis dès mes premiers travaux sur les phénomènes électro-dynamiques, en me fondant, à la vérité, plutôt sur l'analogie que sur des preuves directes.

En remplaçant dans cette expression la fonction ρ par ses valeurs trouvées ci-dessus, elle devient :

$$-r^{1-k-n}\,\frac{d\left(r^k \frac{dr}{ds'}\right)}{ds}\, i i'\, ds\, ds',$$

ou

$$-\frac{r^{1-k-n}}{1+k}\cdot\frac{d^2\,(r^{1+k})}{ds\, ds'}\, i i'\, ds\, ds'.$$

Si l'on désigne, conformément à une notation employée dans divers ouvrages, et notamment dans le *Traité de Mécanique* de M. Poisson (tome 1, art. 171), par dr la différentielle de la distance r relative au déplacement du point M, et par $d'r$ la différentielle de la même dis-

tance relative au déplacement du point M', en sorte que ce qui, d'après la notation ordinaire, est exprimé par

$$\frac{dr}{ds}\,ds,$$

le soit par dr, que ds' soit remplacé par $d's'$, et que

$$\frac{dr}{ds'}\,ds'$$

le soit par $d'r$, on pourra écrire ces deux valeurs ainsi :

$$-ii'r^{1-n-k}\,d(r^k d'r),$$

$$-\frac{ii'r^{1-n-k}\,dd'(r^{1+k})}{1+k}.$$

On pourra se servir de celle de ces deux valeurs qui, dans chaque cas particulier, conviendra mieux au but qu'on se propose; la première est la plus commode dans le cas où je m'en suis servi pour déterminer la relation entre n et k qui résulte de ma nouvelle expérience. Pour faire usage de ces formules, on calculera la valeur de r en fonctions des six coordonnées des deux points M et M', soit que ces coordonnées soient trois droites perpendiculaires, ou deux droites et un angle, ou deux angles et une droite, et on en déduira, par de simples différentiations, les valeurs des différentielles partielles de r qui entrent dans la formule qu'on emploie, en ayant soin de ne faire varier que les trois coordonnées du point M dans les différentiations marquées par le signe d, et que celles du point M' dans les différentiations que représente le signe d'.

Un des avantages de la valeur que nous venons de trouver pour ρ consiste à ce qu'on peut n'exécuter, relativement aux coordonnées qu'on a choisies, que la différentiation relative au changement de position d'un des points M ou M', et se contenter d'indiquer l'autre, ce qui simplifie beaucoup les calculs dans certains cas, comme on le verra quand je déterminerai la valeur de k d'après le fait nouveau que j'ai observé et qui me reste à expliquer.

Ce fait peut être énoncé ainsi :

Un circuit fermé circulaire ne peut jamais produire de mouvement continu toujours dans le même sens, en agissant sur un conducteur mobile d'une forme quelconque qui part d'un point de l'axe élevé perpendiculairement sur le plan de ce circuit par le centre du cercle dont il forme la circonférence, et qui se termine à un autre point du même axe, lorsque le conducteur mobile ne peut se mouvoir qu'en tournant autour de cet axe.

Pour s'en assurer par l'expérience, on adapte à la tige TT' (fig. 16) une coupe annullaire O qui est isolée de la tige par un tube de verre Mm, et qui communique avec la coupe S' par l'équerre en cuivre NnS''.

La spirale représentée fig. 2, à l'aide de laquelle on produit le mouvement continu dans l'appareil (fig. 1), plonge par ses deux extrémités dans les coupes S'' et S''' (fig. 16). Le conducteur mobile appuyé par la pointe K dans la coupe S' se compose de deux parties $KFGH$ et $KEDB$ égales et semblables pour que la terre n'agisse pas sur ce conducteur; elles sont réunies par un cercle BH concentrique à la tige TT' : à ce cercle est attachée une pointe A qui plonge dans le mercure de la coupe O. On établit les commu-

nications en plongeant, par exemple, le rhéophore positif dans S et le rhéophore négatif dans S'''; le courant se partage alors entre les deux directions $STKEDBAONS''$ et $STKFGHAONS''$; arrivé ainsi dans la coupe S'', il parcourt la spirale $LL'L''$ (fig. 2), et se rend dans la coupe S''' (fig. 16), où l'on fait plonger l'appendice $L'''M'''$ (figure 2), et qui est en communication avec l'extrémité négative de la pile par le rhéophore venant de cette extrémité qu'on y a fait plonger. Tout étant ainsi disposé, le conducteur mobile $BDEFGH$ ne tourne plus d'une manière continue comme celui de la fig. 1, mais il ne prend aucun mouvement ou bien il oscille autour d'une position d'équilibre stable. On s'assure aisément que l'action serait complètement nulle si la spirale était construite avec une parfaite régularité; mais comme il est difficile qu'il en soit ainsi, on voit varier la position d'équilibre avec les irrégularités de la spirale, et quand on fait un peu changer la forme de cette spirale, en la pressant avec la main, on a une nouvelle position d'équilibre; mais, dans aucun cas, on ne peut produire de mouvement continu (1). Il convient, pour que les actions des portions ST, nS'', sur le conducteur mobile se détruisent mutuellement, que, quand on fait

---

(1) J'ai trouvé depuis que l'action est encore nulle lorsqu'on remplace le conducteur spiral faisant plusieurs tours, chacun d'une circonférence entière, par un conducteur $CDEFG$ (pl. 10, fig 2) plusieurs fois redoublé, et dont la portion DEF forme un demi-cercle dont le centre est dans l'axe du conducteur mobile $xbcdefb'c'd'e'f'y$, comme les portions CD, FG ne peuvent, d'après ce qui a été dit (pag. 301), agir sur ce conducteur mobile, il ne reste que l'action de la demi-circonférence DEF sur la portion la plu

cette expérience, ces deux portions soient placées l'une au-dessous de l'autre, à la plus petite distance possible.

Considérons maintenant un courant circulaire horizontal dirigé en M' (fig. 15) suivant la tangente $M\,T''$, et agissant sur une portion infiniment petite d'un conducteur mobile BM, assujetti à tourner autour de la verticale AZ passant par le centre A du cercle dont le courant horizontal parcourt la circonférence et dont nous nommerons le rayon a; AZ étant pris pour axe des z, la verticale MN sera l'ordonnée z du point M, prenons pour les deux autres coordonnées de ce point la distance $AN=u$, et l'angle $XAN=t$, en nommant t' l'angle XAM', on aura évidemment :

$$r^2=\overline{MN}^2+\overline{NM'}^2=z^2+a^2+u^2-2\,au\cos.(t'-t),$$

expression où t' varie seul quand le point M' se déplace, en sorte que

$$d'r=\frac{aud't'\sin.(t'-t)}{r},$$

et que l'action d'une portion infiniment petite du courant horizontal située en M' sur une portion infiniment petite du conducteur BM située en M, est représentée par

$$-aii'r^{1-n-k}\,d't'\,d\left(r^{k-1}u\sin.(t'-t)\right),$$

---

voisine $bcde$ dont les deux extrémités sont dans l'axe, action qui, d'après l'expérience, n'imprime à cette portion aucune tendance à tourner toujours dans le même sens, quelque soit sa position relativement au diamètre servant de corde au demi-cercle, d'où il suit évidemmeent que la même chose aurait lieu pour un conducteur fixe formant un arc de cercle quelconque, ainsi que je l'ai supposé dans le calcul qui donne la relation entre n et k.

si on décompose cette force suivant la ligne MO perpendiculaire au plan $AMNK$, et qu'on abaisse du point M' sur le rayon ANK la perpendiculaire $M'K = a \sin.(t'-t)$, qui sera évidemment parallèle à MO, il faudra, pour avoir la composante suivant MO, multiplier la force suivant MM', dont nous venons de trouver la valeur par

$$\frac{M'K}{MM'};$$

ce qui donnera :

$$-a^2 ii'd't'r^{-n-k} \sin.(t'-t) d \left\{ r^{k-1} u \sin.(t'-t) \right\};$$

en multipliant cette quantité par la distance $MQ = u$ du point M à l'axe AZ, on aura, pour le moment de rotation :

$$-a^2 ii'd't'r^{-n-k} u \sin.(t'-t) d \left\{ r^{k-1} u \sin.(t'-t) \right\}:$$

telle est l'action exercée par le petit arc ds' du conducteur fixe horizontal pour faire tourner le petit arc ds du conducteur mobile autour de cet axe; en l'intégrant relativement aux différentielles désignées par d, on aura cette action telle qu'elle est exercée par le petit arc ds' sur tout le conducteur mobile : or, d'après l'expérience qui prouve que cette action est nulle toutes les fois que ses deux extrémités sont dans l'axe, il faudra que l'intégrale soit nulle toutes les fois qu'elle sera prise entre deux limites pour lesquelles $u=0$, quelle que soit d'ailleurs la forme du conducteur mobile et sa position relativement au petit arc ds' situé en M', c'est-à-dire, quelles que soient les valeurs de r et de t en fonctions de u qu'il

faudrait subsituer à r et à t pour intégrer de $u = 0$ à $u = 0$, si cette quantité n'était pas une différentielle exacte par rapport aux trois quantités r, t, u, qui varient avec la position du point M : or, on sait que pour que la valeur d'une intégrale soit ainsi indépendante des relations des variables qui y entrent, et reste toujours la même entre les mêmes limites, il faut qu'elle se présente sous la forme d'une différentielle exacte entre ces variables considérées comme indépendantes, ce qui ne peut avoir lieu ici à moins qu'on n'ait :

$$k - 1 = -n - k,$$

ou

$$k = \frac{1 - n}{2}.$$

Telle est la relation que l'expérience démontre exister entre k et n. Quand $n = 2$, on a $k = -\frac{1}{2}$, mais quelle que soit la force des analogies qui portent à penser que n est en effet égal à 2, on n'en a aucune preuve déduite directement de l'expérience, puisque toutes les expériences faites à ce sujet l'ont été en faisant agir un conducteur voltaïque sur un aimant, et ne s'appliquent par conséquent que par une extension qu'on ne peut regarder comme une démonstration complète, à l'action mutuelle de deux portions infiniment petites de courans électriques.

La relation ci-dessus donne :

$$n = 1 - 2k;$$

Cette condition se déduit immédiatement de ce que l'expression doit être une différentielle exacte par rapport à r, t, u et t étant des variables indépendantes, on peut en effet l'écrire

$$A r^{-n-k} d\left(A r^{k-1}\right)$$

qui est égal : $\frac{1}{2} d\left(A r^{k-1}\right)^2$ si $-n-k = k-1$

(J.)

ou à

$$-\frac{i i' r^k dd'(r^{1+k})}{1+k}.$$

Dans la séance du 24 juin 1822, je lus, à l'Académie royale des Sciences, une note additionnelle à ce Mémoire, où je tirai de ma formule mise sous cette forme deux résultats remarquables : le premier s'obtient lorsqu'on décompose la force que l'élément ds exerce sur l'élément ds', dans la direction de ce dernier, en la multipliant par

$$\cos.\beta = -\frac{d'r}{d's'};$$

ce qui donne

$$\frac{ii'}{d's'} r^k d'r\, d\left(r^k d'r\right),$$

dont l'intégrale, par rapport à d, est :

$$\frac{ii'\left(r^k d'r\right)^2}{2d's'} + C = \tfrac{1}{2} ii' r^{2k} d's' \cos.^2\beta + C,$$

qu'il faut prendre entre les limites marquées par les deux extrémités du conducteur BM (fig. 14). Si ce conducteur forme un circuit complètement fermé, les valeurs de r et de cos. β seront les mêmes aux deux limites, puisque ces limites se trouveront au même point, et l'intégrale sera par conséquent nulle, d'où il suit que la résultante de toutes les actions exercées par un circuit fermé sur une petite portion de conducteur est toujours perpendiculaire à la direction de cette petite portion. Je remarquai, à ce sujet, qu'il en devait être de même d'un assemblage

quelconque de circuits fermés, et par conséquent d'un aimant, lorsqu'on le considère comme tel, conformément à mon opinion sur la cause des phénomènes magnétiques, et c'est en effet ce qui résulte de plusieurs expériences dues à divers physiciens.

Le second résultat consiste en ce que la valeur de k étant négative (1), l'expression de l'action mutuelle de deux portions infiniment petites de courans voltaïques,

$$\frac{ii' (\sin.\alpha \sin.\beta \cos.\gamma + k \cos.\alpha \cos.\beta)}{r^n},$$

devient négative quand on suppose que les deux angles α

---

(1) En vertu de l'équation $k = \frac{1-n}{2}$, la valeur de k n'est négative qu'autant que n est plus grand que 1 ; c'est pourquoi, avant d'avoir vérifié, par l'expérience décrite (pag. 285), que cette valeur est en effet négative, je m'étais assuré que celle de n est plus grande que 1. Pour cela, après avoir trouvé, par un calcul très-simple, que quand on suppose $n = 1$ un conducteur fixe, de quelle forme qu'il soit, ne peut exercer aucune action sur un conducteur circulaire situé dans le même plan, et que l'action entre ce conducteur circulaire et un conducteur rectiligne doit être attractive ou répulsive pour une même position de ces conducteurs, suivant que n est plus grand ou plus petit que 1, j'avais fait cette expérience dès le mois de mai 1822, et j'avais constaté que l'action dont il s'agit n'est pas nulle, et qu'il résulte du sens dans lequel elle a lieu, que n est plus grand que 1, et que k est par conséquent négatif, en me servant du conducteur mobile, représenté en *xabcdefghiky* (pl. 10, fig. 3), sur lequel je faisais agir le conducteur vertical *AB*. La figure que j'en donne ici me paraît suffisante pour qu'on en ait une idée complète, et pour qu'il soit inutile d'en donner une description détaillée.

et β tournés du même côté sont nuls; en sorte que les deux petites portions doivent se repousser quand elles se trouvent sur une même droite, et qu'elles sont dirigées vers le même point de l'espace; j'en tirai cette conclusion que toutes les parties d'un même courant rectiligne se repoussent mutuellement, que c'était probablement la cause des effets connus du moulinet électrique, qu'ainsi ces effets devaient être considérés comme le premier phénomène électro-dynamique observé, et qu'on ne devait plus les expliquer comme on le fait communément.

Quoique les deux petites portions de courans électriques ne soient alors dirigées dans le même sens qu'en apparence, et qu'on doive plutôt les considérer comme parcourant en sens contraire les deux côtés d'un angle de 200°, la répulsion, dans ce cas, était une chose si inattendue qu'il était nécessaire de la vérifier; on a vu plus haut (page 285) que j'ai depuis fait cette expérience avec M. Auguste de La Rive, et qu'elle a complètement réussi. Nous observâmes ensemble, le 9 septembre 1822, que la répulsion a lieu en effet entre un courant établi dans le mercure, et ce même courant prolongé dans un fil conducteur flottant, soit qu'il passe du mercure dans le fil ou du fil dans le mercure; en sorte qu'il est impossible d'attribuer ce phénomène, parfaitement semblable à celui du moulinet électrique, excepté que l'air est ici remplacé par le mercure, aux causes auxquelles on l'a attribué jusqu'à présent dans le seul cas où on l'avait observé, celui où il a lieu dans l'air.

ADDITIONS AU MÉMOIRE PRÉCÉDENT.

Extrait d'un Mémoire présenté à l'Académie royale des Sciences, dans la séance du 16 septembre 1822.

Le temps m'ayant manqué pour achever la lecture de ce Mémoire dans la séance du 16 septembre, j'en lus dans la séance suivante un extrait contenant ce qui suit. Quant au Mémoire lui-même, il m'a paru inutile de l'insérer ici, parce qu'il ne serait guère qu'une répétition de ce qu'on peut voir, pag. 278-286, dans le Mémoire de M. de La Rive fils, qui se trouve dans ce recueil, et de ce que j'y ai ajouté, pag. 286-291.

Le Mémoire dont j'ai lu le commencement dans la séance du 16 septembre 1822, se compose de deux parties : la première contient les résultats de trois expériences nouvelles que j'ai faites à Genève avec M. Auguste de La Rive; la seconde, les conséquences que j'ai déduites des lois que j'avais trouvées, en 1820, relativement à l'action mutuelle de deux conducteurs voltaïques, à l'occasion des expériences dues à ce jeune physicien, et qui sont décrites dans un Mémoire très-remarquable, que leur auteur a lu le 4 septembre 1822 à la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève (1).

(1) Ce Mémoire a été inséré dans le cahier de septembre 1822 de la *Bibliothéque universelle*, et dans ce recueil, pag. 262 et suiv.

Voici l'énoncé des trois nouveaux faits contenus dans la première partie du mien.

1°. Les différentes portions d'un même courant électrique rectiligne se repoussent mutuellement comme dans le cas où ce courant parcourt successivement les deux côtés d'un angle quelconque, en passant de l'un à l'autre par le sommet de cet angle. Je n'avais auparavant constaté cette répulsion par l'expérience que dans ce dernier cas; mais j'avais annoncé, le 24 juin 1822, à l'Académie, que, d'après ma formule, elle devait aussi avoir lieu dans le premier; l'expérience que j'ai faite pour vérifier cette conclusion a complétement réussi. M. Auguste de La Rive a bien voulu, à ma demande, en donner la description dans une addition à son Mémoire (1).

2°. D'après le complément que la formule que j'ai donnée, en 1820, pour exprimer l'action mutuelle de deux portions infiniment petites de courants électriques, a reçu par la détermination que j'ai faite, dans le Mémoire lu à l'Académie le 10 juin dernier, du coefficient constant qui se trouve dans cette formule, un conducteur fixe plié en arc de cercle dans un plan horizontal ne peut exercer aucune action sur un conducteur mobile d'une forme quelconque, qui ne peut se mouvoir qu'en tournant autour d'un axe vertical passant par le centre de l'arc, et dont les deux extrémités sont

(1) Pag. 285.

dans cet axe. Je n'avais fait cette expérience qu'avec un conducteur fixe formant une circonférence entière, plusieurs fois redoublée, et j'en avais conclu la valeur du coefficient constant; il restait, pour qu'il n'y eût rien à objecter à la détermination de ce coefficient, de la répéter en employant un arc plus petit que la circonférence : c'est ce que j'ai fait à Genève, en me servant d'un conducteur fixe, formant une demi-circonférence plusieurs fois redoublée; et comme l'action a été nulle, quel que fût l'angle que formât le plan du conducteur mobile avec le diamètre qui servait de corde à la demi-circonférence, on ne peut douter qu'elle ne soit nulle en effet pour un arc quelconque (1).

3°. Il s'établit dans un conducteur mobile formant une circonférence complétement fermée, un courant électrique par l'influence de celui qu'on produit dans un conducteur fixe circulaire et redoublé, placé très-près du conducteur mobile, mais sans communication avec lui (2).

J'avais déjà tenté la même expérience au mois de juillet 1821, avec un appareil tout semblable, décrit dans ma lettre à M. le professeur Van-Beek, qui a été insérée dans le *Journal de Physique;* mais ayant probablement employé un aimant trop

---

(1) J'ai expliqué, dans la note des pages 312 et 313, la manière dont cette expérience a été faite.

(2) L'appareil avec lequel j'ai fait cette expérience est décrit, pag. 170, et la production des courants électriques par influence qu'elle établit, est annoncée pag. 285 et 286.

faible, je n'avais obtenu aucun signe de l'existence du courant électrique dans le conducteur mobile, ce qui m'avait fait rejeter dans cette lettre la production des courants électriques par influence ; cette dernière expérience doit la faire admettre : mais ce fait, indépendant jusqu'à présent de la théorie générale des phénomènes électro-dynamiques, n'apporte aucun changement à cette théorie. Voici maintenant les principaux résultats des conséquences que j'ai déduites dans la seconde partie de mon Mémoire, des lois auxquelles j'ai ramené ces phénomènes en 1820 (1).

1°. Une portion rectiligne du circuit voltaïque mobile dans un plan autour d'une de ses extrémités, tend à tourner toujours dans le même sens par l'action d'un conducteur fixe rectiligne et indéfini, situé dans ce plan ou dans un plan parallèle, toutes les fois que ce conducteur est dans tous ses points hors du cylindre droit, qui a pour base le cercle dont la circonférence est décrite par l'extrémité de la portion mobile opposée à celle autour de laquelle elle tourne ; le conducteur fixe rectiligne tend, au contraire, à amener cette portion mobile dans une situation déterminée, quand il entre dans ce cylindre et vient passer auprès de son axe.

2°. Quand la portion mobile au lieu de se mouvoir, comme dans le cas précédent, en tournant

(1) Cette expérience est décrite pag. 277, 278.

autour d'un axe perpendiculaire au plan où elle est située, est au contraire assujettie à rester dans son mouvement de rotation, toujours parallèle à l'axe autour duquel elle se meut, l'action d'un conducteur rectiligne indéfini situé dans un plan perpendiculaire à cet axe, tend, dans tous les cas, à amener la portion mobile dans une position déterminée, où le plan qui la joint à l'axe de rotation est parallèle au conducteur fixe, et où la portion mobile se trouve du côté positif de ce conducteur, quand le courant qui la parcourt va en s'approchant du même conducteur, et du côté opposé quand il va en s'en éloignant, conformément à ce que j'ai déjà dit relativement à des faits analogues, dans les notes que M. Savary et moi avons publiées sur le premier Mémoire de M. Faraday. (*Annales de Chimie et de Physique*, tom. XVIII, pag. 373, lig. 2—6, et pag. 161 de ce recueil.)

3°. Si l'on remplace le conducteur fixe rectiligne indéfini par un conducteur circulaire dont le diamètre soit suffisamment grand relativement aux dimensions du conducteur mobile, les effets produits seront sensiblement les mêmes que quand le conducteur fixe est supposé rectiligne, pourvu que le centre du cercle qu'il forme se trouve hors du cylindre droit qui enveloppe le conducteur mobile dans toutes les positions où il se trouve successivement en tournant autour de l'axe.

4°. Ce n'est que dans le cas où le centre de la circonférence sur laquelle est plié le conducteur

fixe circulaire se trouve au-dedans de ce cylindre, que le conducteur parallèle à l'axe doit tendre à tourner toujours dans le même sens; quant au conducteur mobile assujetti à se mouvoir autour d'une de ses extrémités dans un plan passant par le conducteur fixe ou dans un plan parallèle, cette circonstance ne fait rien au mouvement qu'il doit prendre toujours dans le même sens, par l'action du conducteur circulaire dont il est entouré.

En appliquant ces considérations aux ingénieuses expériences de MM. de La Rive sur l'action exercée par le globe terrestre sur les différentes portions d'un circuit voltaïque, qu'on dispose de manière à les rendre mobiles séparément, on voit que tous les résultats de ces expériences concourent à prouver que la terre agit sur ces différentes portions, précisément comme un assemblage de circuits voltaïques qui se mouvraient de l'est à l'ouest dans des directions perpendiculaires aux méridiens magnétiques, et qu'ils auraient pu être aisément prévus d'après cette loi générale de l'action électro-dynamique de notre globe, considérée comme je l'ai fait dans mes recherches sur ce sujet (1).

---

(1) Le Mémoire dont on vient de lire l'extrait était terminé par la description des deux conducteurs mobiles représentés pl. 9, fig. 13 et 14. Cette description a été insérée dans ce recueil, pag. 286-291, et dans les *Annales de chimie et de physique*, tom. XXI, pag. 48-53.

Exposé méthodique des phénomènes électro-dynamiques et des lois de ces phénomènes.

L'ORDRE dans lequel les différents faits qui se rattachent à une même branche de la physique se présentent à ceux qui les découvrent, dépendant le plus souvent de circonstances fortuites, il est rare que cet ordre soit celui qui convient à l'exposition méthodique de ces faits. Cette observation s'applique particulièrement aux nouvelles propriétés (1) des conducteurs voltaïques découvertes par MM. Oersted, Arago, Ampère, Faraday, etc.: la masse des faits qu'ils ont observés, et de ceux qu'on peut y rapporter, et qui sont dus à d'autres physiciens, est aujourd'hui assez considérable pour qu'on puisse les présenter dans l'ordre qui résulte naturellement de leur dépendance mutuelle; c'est ce que nous nous proposons de faire dans cet article.

I. Le premier de ces faits, dans l'ordre naturel, nous paraît être celui que M. Ampère a annoncé,

(1) On sait que M. Oersted a reconnu le premier l'action directrice des conducteurs voltaïques sur les aimants; M. Faraday, l'action révolutive toujours dans le même sens qui a lieu entre un conducteur et un aimant; M. Arago, la propriété qu'ont ces mêmes conducteurs de rendre magnétiques le fer et l'acier; et M. Ampère, tout ce qui est relatif à leur action mutuelle et à celle qui est exercée sur eux par le globe terrestre, ainsi que la rotation d'un aimant ou d'un fil conducteur autour de son axe.

(1) Journal de Physique t. XCV p. 118.

le 24 juin 1822, à l'Académie des sciences comme résultant de ses formules, et qui n'a été vérifié par l'expérience qu'au mois de septembre suivant; c'est la répulsion mutuelle de toutes les parties d'un courant électrique rectiligne. Cette propriété semble être dans les courants électriques la source de toutes les autres; elle lie les phénomènes qu'ils présentent à ceux qui sont produits par la machine électrique ordinaire, et spécialement à la répulsion qu'on observe dans l'expérience du moulinet électrique, entre les pointes de cet instrument et l'air où se répand l'électricité qui sort de ses pointes (1).

II. Si dans ce premier fait on considère deux portions contiguës du courant électrique, entre lesquelles il y ait répulsion, comme les deux côtés d'un angle de 200°, on conçoit qu'en faisant tourner les côtés de cet angle autour de son sommet, le courant électrique parcourra l'un des côtés en s'approchant du sommet, et l'autre en s'en éloignant. On observe dans cette situation, que la même répulsion a lieu entre les deux côtés de l'angle, en sorte que l'un d'eux étant mobile, il tourne autour du sommet en s'éloignant de l'autre. Ce second fait prouve que la répulsion, dont il est ici question, s'exerce à distance, et non pas seulement entre les particules contiguës du courant électrique. L'action entre deux portions infi-

(1) Pag. 285, 317 et 318.

niment petites de deux courants est toujours dirigée suivant la ligne qui les joint (1).

III. Le même effet a lieu lorsque les deux portions de courant électrique, qui agissent l'une sur l'autre, sont dans des plans différents, pourvu que l'un des courants aille toujours en s'approchant et l'autre en s'éloignant de la perpendiculaire commune qui mesure la plus courte distance de leurs directions.

IV. Il a encore lieu quand l'angle formé par ces directions se réduit à zéro, c'est-à-dire, quand les courants parcourent en sens contraires deux lignes parallèles (2).

V. Quand on change la direction d'un de ces courants dans les expériences précédentes, la répulsion se change en une attraction égale, en sorte que deux courants s'attirent, quand ils parcourent, soit les deux côtés d'un angle plan ou gauche (3), en s'approchant ou en s'éloignant tous

---

(1) Pag. 80. L'instrument avec lequel M. Ampère a observé pour la première fois l'action mutuelle de deux fils conducteurs formant un angle quelconque, est décrit pag. 23; cette action est déjà indiquée pag. 20, et elle est expliquée pages 160, 161, 279 et 280.

(2) Pag. 16, 17 et 18.

(3) Nous appelons ici angle gauche par opposition à l'angle plan, celui qui est formé par deux droites qui ne se rencontrent pas, en prenant le mot gauche dans le sens qu'on lui donne en géométrie lorsqu'on divise le genre des surfaces réglées en ses trois espèces, le plan, les surfaces développables et les surfaces gauches.

deux du sommet ou de la perpendiculaire commune, soit deux lignes parallèles en allant dans le même sens (1).

VI. Il est presque inutile de remarquer que si l'on changeait à la fois la direction des deux courants, leur action resterait la même qu'auparavant.

VII. Si l'on substitue à une portion rectiligne du circuit voltaïque, une portion pliée ou contournée d'une manière quelconque, et dont les sinuosités s'éloignent très-peu de la direction de celle qu'elle remplace, l'action exercée sur un conducteur mobile rectiligne sera toujours la même; d'où il suit que l'action d'une petite portion de courant électrique sur une autre, est égale à la somme des actions qu'exerceraient sur cette dernière les trois projections de la première sur trois plans coordonnés (2).

VIII. Il est aisé de conclure de ces faits, que, lorsqu'un conducteur rectiligne indéfini agit sur une petite portion d'un conducteur mobile, dont la direction est perpendiculaire à la sienne, la résultante de toutes les actions exercées par les petites portions du conducteur indéfini, lui est parallèle et dirigée vers le côté qui communique

---

(1) Pag. 16, 17, 18, 23, 80, 208. 209, 300, 301 et 302.

(2) Pag. 78. L'appareil qui a servi à faire cette expérience avec toute l'exactitude possible, est décrit pages 89 et 90, et avec plus de détails, pag. 216 et suiv.

avec l'extrémité positive de la pile, dans le cas où le courant du conducteur mobile va en s'approchant du conducteur indéfini, et vers le côté où la communication a lieu avec l'extrémité négative de la pile, quand le même courant va en s'en éloignant (1). C'est ce qui rend raison des différents phénomènes produits par cette action, suivant que le conducteur mobile est assujetti à tourner autour d'un axe parallèle ou perpendiculaire à sa direction; et de ce que, dans ce dernier cas, il en résulte dans le conducteur mobile un mouvement de rotation continu toujours dans le même sens, lorsque le conducteur rectiligne indéfini est hors de la surface du cylindre droit, qui a pour base le cercle décrit par le conducteur mobile (2).

IX. On voit avec la même facilité pourquoi un conducteur circulaire, en imprimant toujours le même mouvement de rotation continu au conducteur mobile perpendiculaire à son axe, peut aussi l'imprimer au conducteur mobile parallèle à cet axe, mais seulement quand le centre du conducteur circulaire se trouve au dedans de la surface cylindrique décrite par ce dernier conducteur, ainsi que le montre l'expérience (3).

X. La dernière conséquence qui résulte des mê-

---

(1) Pag. 160, 161, note de la page 240, et, avec plus de détail, pag. 280, 281.

(2) Pag. 284 et 322, et pour la description des expériences, pag. 286-291.

(3) Pag. 238, 239, 240, 323 et 324.

mes considérations, est l'action du conducteur indéfini, pour amener le conducteur mobile dans une situation où il lui est parallèle, et où les deux courants sont dirigés dans le même sens, lorsque la perpendiculaire commune aux directions des deux conducteurs passe par le milieu du conducteur mobile, et que celui-ci peut tourner librement autour de cette perpendiculaire (1).

XI. Lorsque la portion mobile du circuit voltaïque a ses deux extrémités dans l'axe autour duquel elle peut tourner, elle n'éprouve aucune action révolutive de la part d'un courant qui parcourt, dans un plan perpendiculaire à cet axe, un arc de cercle dont le centre est sur ce même axe (2). En combinant ce fait avec celui qui a été décrit (art. VII), on parvient à ce résultat, qu'en nommant i et i' les intensités de deux courants électriques; ds et ds' les longueurs de deux de leurs portions infiniment petites; r la distance de ces deux portions; k un nombre constant dont d'autres expériences montrent que la valeur est $-\frac{1}{2}$; et en représentant par dr la différentielle de r relative à ds, et par $d'r$ la différentielle de r relative à ds', l'action mutuelle des deux portions infiniment petites, action qui s'exerce suivant la ligne qui les joint, est exprimée par

$$-\, ii'r^k\, d\,(r^k\, d'r)$$

(1) Pag. 20 et 23.

(2) Pag. 311, 312 et 313.

ou $$-\,ii'r^k\, d'\,(r^k\, dr)\ (1).$$

Si l'on décompose cette force, dans le plan qui passe par sa direction et par celle d'une des deux portions infiniment petites, de ds' par exemple, en deux autres forces l'une parallèle et l'autre perpendiculaire à ds', et qu'on nomme β l'angle des deux directions dont nous venons de parler, on trouvera, pour les valeurs de ces forces,

$$\frac{1}{2}\, ii'\, ds'\, d\,(r^{2k}\cos^2\beta) \text{ et } \frac{1}{2}\, ii'\, ds'\,[d\,(r^{2k}\sin\beta\cos\beta) - r^{2k}\, d\beta],$$

ou plutôt

$$\frac{1}{2}\, ii'\, ds'\, d\frac{\cos^2\beta}{r}, \text{ et } \frac{1}{2}\, ii'\, ds'\left(d\frac{\sin\beta\cos\beta}{r} - \frac{d\beta}{r}\right),$$

puisque $k = -\frac{1}{2}$ (2).

XII. Les résultats que M. Savary a obtenus en calculant, d'après cette formule, une observation de MM. Gay-Lussac et Welther faite en 1820, ont porté M. Ampère à essayer de faire agir, sur un conducteur mobile, un système de courans électriques circulaires dont les plans, extrêmement rapprochés les uns des autres, sont perpendiculaires à une circonférence passant par les centres des cercles décrits par ces courans électriques; il a trouvé, comme il était aisé de le prévoir d'après l'expérience dont nous venons de parler, que ce système n'exerçait aucune action sur le conducteur mobile dans quelque situation qu'il lui fût présenté. Cette expérience suffit pour détermi-

(1) Pag. 313, 314 et 315.

(2) Pag. 316, pour la 1re valeur, la 2e s'en déduit aisément.

ner la valeur de k, car il suit des calculs de M. Savary qu'il ne peut y avoir équilibre entre toutes les actions exercées par les courans circulaires ainsi disposés, sur une portion quelconque du circuit voltaïque, à moins qu'on n'ait $k^2 - \frac{k+1}{2} = 0$, équation dont les deux racines sont $k = 1$, et $k = -\frac{1}{2}$, cette dernière est celle qui a lieu dans la nature, puisqu'une expérience faite par M. Ampère, au mois de mai 1822 (1) a démontré que la valeur de k ne peut être que négative.

XIII. L'exposant de la puissance de la distance de deux portions infiniment petites de courans électriques, à laquelle leur action mutelle est réciproquement proportionnelle lorsque cette distance varie sans qu'il y ait aucun changement dans les angles qui déterminent leur position respective, étant égal à $1 - 2k$ (2), il suit de cette détermination de la valeur de k que la loi d'après laquelle l'action électro-dynamique dépend de la distance, loi que M. le marquis de Laplace avait déduite des expériences par lesquelles M. Biot, a déterminé la durée des oscillations que fait un aimant autour de la situation qu'un conducteur voltaïque tend à lui donner, se trouve démontrée directement par un cas d'équilibre indépendant

---

(1) Note de la pag. 317.

(2) Pag. 315, 2e alinéa.

de la forme du conducteur mobile, et qui s'observe entre deux portions du circuit voltaïque agissant l'une sur l'autre, et non entre une portion de ce circuit et un aimant, comme dans les phénomènes dont on est d'abord parti pour trouver cette loi (1).

XIV. Un circuit métallique, continu et isolé, placé très près d'un autre circuit parcouru par un courant électrique très intense, est attiré ou repoussé par un aimant, comme s'il s'y produisait un faible courant électrique, par l'influence de l'autre circuit (2).

XV. Les courans produits dans l'intérieur de la pile, par l'action électro-motrice de ses élémens, et ceux qui traversent de l'eau acidulée faisant partie du circuit voltaïque, agissent précisément comme les courans électriques des fils conducteurs (3).

XVI. Le globe terrestre agit, dans tous les cas, comme s'il s'y trouvait des courans électriques allant de l'est à l'ouest, dans des directions dont la moyenne fût ce qu'on appelle l'équateur magnétique; en sorte qu'il suffit d'examiner ce qui doit résulter de courans électriques disposés comme nous venons de le dire, pour

---

(1) Pag. 315, 1[er] alinéa.

(2) Pag. 285, 286, 321 et 322.

(3) Pag. 11, 204, 205, 243, 244, et plus complétement, quant à l'action des courans de la pile, dans le tome XVIII des *Annales de Physique et de Chimie*, pag. 315 et suiv.

prévoir les effets qu'il produit, en attirant, repoussant ou faisant tourner toujours dans le même sens des conducteurs mobiles (1).

XVII. On reconnaît que le mouvement d'une portion de circuit voltaïque est produit par l'action de la terre, et non par celle d'une autre partie du même circuit, parce qu'alors ce mouvement a lieu en sens contraire, quand on renverse les communications du circuit avec les extrémités de la pile; tandis que, comme nous l'avons vu (art. VI), le même changement n'en produit aucun dans l'action mutuelle des diverses parties du circuit (2).

XVIII. On imite tous les effets produits par le globe terrestre sur les conducteurs, au moyen d'une lame de cuivre roulée en hélice, dont une portion revient par l'axe de cette hélice, pour que le courant de cette portion neutralise l'effet des projections parallèles à l'axe des spires de l'hélice. Nous donnerons à cet appareil le nom de cylindre électro-dynamique.

XIX. L'extrémité du cylindre, qui est placée relativement aux courans qui entourent son axe comme le pôle austral de la terre l'est par rapport aux courans dirigés de l'est à l'ouest dans notre globe, agit comme ce pôle, et l'extrémité opposée, agit comme le pôle boréal de la terre. De

---

(1) Pag. 63 et 111; et pour les détails des expériences pag. 35, 43, 44, 45, 46, 47, 241, 263 et suiv.

(2) Note de la page 209, et pag. 244.

là, les noms de pôle austral et pôle boréal donnés aux deux extrémités du cylindre.

XX. Il suit de la formule donnée (art. XI), que deux cylindres électro-dynamiques doivent se repousser par les pôles de même nom, et s'attirer par les pôles de noms contraires, quelles que soient les directions de leurs axes; qu'un cylindre électro-dynamique doit être dirigé par un conducteur rectiligne indéfini, placé vis-à-vis de son milieu, de manière que son axe forme un angle droit avec la direction du conducteur, et que son pôle austral soit à gauche du courant qui le parcourt; que dans cette situation il est attiré, et qu'il est repoussé lorsque son pôle austral est à droite du même courant, pourvu que, dans ces deux cas, la droite qui mesure la plus courte distance du conducteur rectiligne et de l'axe du cylindre rencontre cet axe entre ses deux extrémités; qu'une portion du circuit voltaïque mobile autour d'un axe vertical, passant par une de ses extrémités tend à tourner autour de lui, toujours dans le même sens, par l'action d'un cylindre électro-dynamique dont une des deux extrémités se trouve dans cet axe à une petite distance de la portion mobile, quelle que soit d'ailleurs la position verticale, horizontale ou inclinée de l'axe du cylindre; que le pôle austral d'un cylindre électro-dynamique mobile autour d'un axe vertical, doit être dirigé du côté du nord par l'action des courans terrestres, et le pôle boréal du côté du midi; et

que si le même cylindre est mobile autour d'un axe horizontal perpendiculaire au méridien magnétique, il doit s'incliner en portant son pôle austral vers la terre. Toutes ces conséquences de la théorie sont confirmées par l'expérience (1).

XXI. Lorsqu'on place un barreau d'acier dans un cylindre électro-dynamique, on observe que les phénomènes présentés par ce cylindre augmentent en intensité dans la partie où se trouve ce barreau, mais restent les mêmes à tous autres égards, et que quand on le retire du cylindre il en conserve toutes les propriétés (2), qu'il peut ensuite, comme un cylindre électro-dynamique, communiquer à d'autres barreaux, en sorte qu'en appliquant aux extrémités du barreau les noms de pôle austral et de pôle boréal des extrémités correspondantes du cylindre, deux barreaux ainsi préparés, se repoussent par les pôles de même nom, et s'attirent par les pôles de noms contraires; qu'un de ces barreaux est dirigé par un conducteur rectiligne indéfini, placé vis-à-vis de son milieu, de manière que son axe forme un angle droit avec la direction de ce conducteur, et que son pôle au-

---

(1) Pag. 79, 80, avec plus de détail et la description de l'instrument, pag. 116, 117, et, pour ce qui est relatif au mouvement de rotation continue, pag. 133, 134, 238, 239 et 240.

(2) Pag. 76 et 77, et, pour l'explication de ce fait, pag. 181 et 182.

stral soit à gauche du courant qui le parcourt (1); que dans cette situation le conducteur indéfini attire le barreau et qu'il le repousse lorsque son pôle austral est à droite du même courant (2), pourvu que dans cette situation la droite qui mesure la plus courte distance du conducteur rectiligne et de l'axe du barreau rencontre cet axe entre les deux points auxquels on a donné le nom de pôles (3); qu'une portion du circuit voltaïque, mobile autour d'un axe vertical passant par une de ses extrémités tend à tourner autour de lui, toujours dans le même sens, par l'action d'un barreau dont un des pôles se trouve dans cet axe à une petite distance de la portion mobile, quel que soit d'ailleurs l'angle formé par l'axe vertical autour duquel elle est assujétie à tourner, et par la droite qui joint les deux pôles de ce barreau (4); que son pôle austral est dirigé au nord par l'action des courans terrestres, et son pôle boréal au midi, quand il est mobile autour d'un axe vertical; et qu'il s'incline comme un cylindre électro-dynamique, quand il l'est autour d'un axe horizontal perpendiculaire au méridien magnétique : la plupart de ces faits étaient connus depuis long-temps, mais on ne soupçonnait pas alors ceux qui dépendent de l'action du conducteur voltaïque, on sait que cette action a

---

(1) Pag. 49, 50 et 51.
(2) Pag. 51, 52 et 54.
(3) Pag. 49.
(4) Pag. 126-131; 141, 242 et 243.

été découverte par M. Œrsted, et le mouvement de rotation continue par M. Faraday.

XXII. Un courant électrique rectiligne placé auprès d'un barreau d'acier dans une direction perpendiculaire à son axe, communique à ce barreau les mêmes propriétés, mais son action, pour produire cet effet, est, toutes choses égales d'ailleurs, beaucoup plus faible que celle du cylindre électro-dynamique.

XXIII. Le globe terrestre agit encore à cet égard précisément comme s'il y existait des courans électriques disposés comme nous l'avons dit (art. XVI). Ces courans, car il est bien difficile, d'après l'ensemble des faits, de douter de leur existence, communiquent ces propriétés, d'après les mêmes lois que les courans excités par la pile de Volta ou une machine électrique ordinaire, à un barreau d'acier soumis à leur action dans une situation convenable, ainsi qu'on l'a observé depuis long-temps; ils les communiquent aussi, à la manière d'un cylindre électro-dynamique, aux minerais de fer renfermés dans le sein de la terre, c'est dans les roches ferrugineuses qu'on les a d'abord observées, l'action que ces roches exercent a été pendant long-temps l'unique moyen de les donner aux barreaux de fer et d'acier, et cette action se joignant à celle des courans généraux du globe terrestre, explique pourquoi l'action totale qui en résulte varie en direction et en intensité, d'une manière irrégulière, dans les différens lieux, et dans un même lieu à différentes époques.

XXIV. Un barreau d'acier qui présente les propriétés dont nous venons de parler est ce qu'on appelle un *aimant;* tous les phénomènes produits par les morceaux d'acier qui en sont doués, se ramènent immédiatement aux lois de l'action mutuelle des courans voltaïques, lorsque l'on suppose, autour des particules des aimans, des courans électriques dans des plans qui, vers le milieu de ces aimans, sont comme ceux des courans des cylindres électro-dynamiques, perpendiculaires à l'axe, mais qui s'inclinent probablement, pour les particules situées hors de cet axe, d'autant plus qu'elles sont plus éloignées de son milieu (1).

XXV. L'aimantation d'un barreau par le courant électrique, soit d'un cylindre électro-dynamique, soit d'un conducteur rectiligne transversal, est une suite nécessaire de ce que les courans électriques, dont tout semble prouver l'existence autour des particules des métaux magnétiques (2), sont dirigés par ce courant, précisément comme il dirige, d'après l'expérience et les lois générales de l'action électro-dynamique, une portion mobile de conducteur voltaïque formant un circuit presque fermé, et de ce que l'action mutuelle des courans des particules d'un même aimant, tend à incliner sur son axe les plans de ces courans de la manière que nous venons d'indiquer (3).

---

(1) Pag. 257, 258, et notes des pages 299 et 300.
(2) Pag. 171 et 172.
(3) Pag. 257, 1er alinéa.

XXVI. Cette inclinaison des plans dans lesquels sont situés les courans des particules des aimans paraît être la cause de la différence que M. Faraday a remarquée entre la manière d'agir des aimans et des cylindres électro-dynamiques ; elle consiste en ce que les pôles proprement dits d'un aimant ne sont pas situés exactement à ses extrémités, au lieu que les points qui présentent les mêmes propriétés dans un cylindre électro-dynamique, sont précisément à ses extrémités, conformément aux calculs déduits (1) de la formule de l'article XI. La même inclinaison rend aussi raison, d'une manière très simple, de plusieurs circonstances de l'aimantation d'un morceau d'acier par un aimant, qui présentent des difficultés (2) quand on explique, comme on le fait ordinairement, le phénomène de l'aimantation par le procédé anciennement connu ; ces difficultés disparaissent lorsqu'on le ramène au fait déjà expliqué de l'aimantation par le courant électrique d'un fil conducteur (3).

XXVII. Il semble d'abord, puisqu'on rend raison de tous les phénomènes que présentent les aimans, en les considérant comme des assemblages de courans électriques disposés comme nous venons de le dire, qu'on pourrait également expliquer les phénomènes produits par les conducteurs voltaïques, en les considérant comme des

---

(1) Pag. 257, 2me alinéa.

(2) Pag. 195 et 196.

(3) Pag. 196, 197, 198 et pag. 258.

assemblages de petits aimans situés transversalement à leur axe; mais cette explication est démentie par les faits, ainsi qu'on l'a pu voir dans ce Recueil (1).

XXVIII. Lorsqu'on a ainsi ramené l'action des aimans aux lois générales de celle des conducteurs voltaïques, on peut en déduire différens phénomènes dont nous n'avons pas encore parlé et qui ont lieu lorsqu'on fait agir l'un sur l'autre un conducteur voltaïque et un aimant, tels que la révolution d'un aimant autour d'un conducteur, la rotation d'un de ces corps sur son axe par l'action de l'autre, celle qu'un aimant produit dans le mercure que traverse le courant électrique et qu'a découverte sir H. Davy, les divers mouvemens du conducteur annulaire flottant de M. de La Rive, et toutes les autres conséquences de ce genre que l'expérience confirme (2).

XXIX. C'est aussi alors qu'on peut appliquer la formule de l'article XI, aux phénomènes que présentent l'action mutuelle d'un conducteur voltaïque et d'un aimant, et celle de deux aimans, en calculant les effets que doivent produire, d'après cette formule, les courans électriques disposés autour des particules des aimans, comme il a été dit plus haut. Ce nouveau progrès d'une branche si intéressante de la physique est dû à M. Savary; voici les principaux résul-

---

(1) Pag. 206, et note des pag. 297, 298.

(2) Pag. 131, 132, 177, 178, 201, 202 et pag. 245-250 et 258.

tats qu'il a obtenus, en appliquant la formule de l'art. XI au calcul de l'action exercée par des cylindres électro-dynamiques d'un très petit diamètre, les seuls auxquels on doive comparer les aimans quand on considère comme des assemblages de courans électriques tournant autour de leurs particules (1).

1°. L'anneau électro-dynamique décrit (art. XII) ne peut exercer aucune action sur des courans électriques disposés de quelque manière que ce soit; résultat identique, lorsque l'on considère les aimans comme le fait M. Ampère, à l'expérience de MM. Gay-Lussac et Welther.

2°. Le calcul donne tous les résultats obtenus par M. Pouillet dans les expériences qu'il a lues à l'Académie royale des Sciences le 26 août 1822.

3°. Un conducteur rectiligne indéfini a la même action pour faire tourner un courant circulaire situé dans un plan perpendiculaire à celui qui passe par le conducteur et le centre du cercle décrit par ce courant, autour de l'intersection commune de ces deux plans, quand la distance

---

(1) Avant que M. Savary eût publié les résultats de ses calculs, M. de Monferrand, professeur de Physique au Collége royal de Versailles, avait aussi obtenu, par un procédé différent, ceux de ces résultats qui sont relatifs aux expériences de M. Pouillet et quelques autres qui sont propres à M. de Monferrand; son mémoire et celui de M. Savary ont été lus à l'Académie royale des Sciences, dans la séance du 3 février 1823.

de son centre au conducteur restant la même, on place successivement celui-ci dans différentes positions relativement à cette intersection, ce qui est d'accord avec une expérience faite le 20 janvier 1821 par MM. Ampère et Despretz.

4°. L'action mutuelle d'un fil conducteur d'une forme et d'une grandeur quelconques, et d'un cylindre électro-dynamique, lorsqu'on suppose que ce cylindre est assez long pour que l'une de ses extrémités soit très loin du conducteur, ne dépend que de la situation de son autre extrémité relativement à ce conducteur et reste la même quelle que soit la direction de l'axe du cylindre.

5°. L'action mutuelle de deux cylindres électro-dynamiques, quelles que soient les directions de leur axes, se compose de quatre forces, deux attractives et deux répulsives, dirigées suivant les droites qui joignent deux à deux les extrémités des cylindres, et en raison inverse du carré des distances entre ces extrémités, ce qui donne, à l'égard de ces dernières, la formule que Coulomb avait trouvée par expérience pour les pôles de deux aimans, en observant la direction qu'un de ces aimans prend par l'action de l'autre (1).

6°. En supposant l'action des courans terrestres représentée par celle d'un courant moyen situé dans le plan de l'équateur magnétique, et décrivant autour du centre de la terre une circonférence dont le rayon soit assez petit, relative-

(1) Mém. de l'Ac. des Sc. pour l'année 1785, pag. 599.

ment à celui de notre globe, pour que la quatrième puissance de leur rapport puisse être négligée dans le calcul, un cylindre électro-dynamique soumis à cette action doit s'incliner de manière que son axe forme avec l'horizon un angle dont la tangente soit double de la tangente de la latitude magnétique, c'est-à-dire comme le fait, en général, une aiguille aimantée.

XXX. Parmi les résultats des recherches de M. de Monferrand, qui ne se trouvent pas dans le Mémoire de M. Savary dont nous venons de parler, on doit particulièrement remarquer les deux suivans :

1°. L'action d'un conducteur horizontal rectiligne et indéfini pour faire tourner un conducteur mobile très court, toujours dans le même sens autour d'une de ses extrémités dans un plan horizontal, est indépendante de l'angle formé par les directions des deux conducteurs, et cela non seulement dans le cas où le plan de rotation passe par le conducteur indéfini, comme on le savait déjà, mais encore lorsqu'il passe au-dessus ou au-dessous de ce conducteur.

2°. L'action d'une hélice dont l'axe forme, comme celui d'un aimant en fer-à-cheval, une courbe composée de deux parties symétriques des deux côtés d'un plan, tend toujours à amener, dans ce plan, un conducteur rectiligne indéfini mobile autour d'un axe situé dans le même plan. Ce résultat du calcul a été confirmé par l'expérience.

Extrait *fait par* M. SAVARY *du Mémoire qu'il a lu à l'Académie royale des Sciences, le 3 février 1823,*

Suivi d'une Observation additionnelle par M. AMPÈRE.

Depuis que les actions qu'exercent entr'eux un conducteur voltaïque et un aimant ou deux conducteurs voltaïques sont connues, plusieurs physiciens ont essayé de ramener à un principe unique ces deux sortes de phénomènes et ceux que présente l'action mutuelle de deux aimans. Parmi les différentes théories proposées pour atteindre ce but, celle de M. Ampère, qui consiste à supposer des courans électriques circulaires autour des particules des aimans, et qui suffit à l'explication générale de tous les faits connus, a seule l'avantage de montrer pourquoi l'on ne peut pas imiter avec un assemblage d'aimans toutes les propriétés d'un fil conducteur, imprimer, par exemple, à un aimant ou à un autre assemblage d'aimans un mouvement de rotation continue.

Dans cette théorie l'action d'un aimant aussi-bien que celle d'un fil conducteur ne dépend que de la loi suivant laquelle s'attirent ou se repoussent deux élémens infiniment petits de courans électriques. M. Ampère a donné, pour exprimer ces forces élémentaires, une formule déduite de ce qu'une petite portion de courant agit comme la somme de ses projections sur des directions quelconques, quand il ne résulte de la substitution de ces projections à la petite portion que des variations insensibles dans la distance au point qu'elle attire. En appelant r la

distance de deux élémens ds et ds', dont les intensités sont i et i', cette formule est :

$$-\frac{r^{1-k-n}}{1+k} \cdot \frac{d^2(r^{1+k})}{ds\,ds'}\, ii'\,ds\,ds'.$$

dans laquelle k et n sont des constantes dont il restait à déterminer la valeur. M. Ampère ayant observé qu'une portion de conducteur circulaire n'a aucune action pour faire tourner, autour d'un axe passant par son centre et perpendiculaire à son plan, une autre portion de conducteur de forme quelconque, terminé de part et d'autre à cet axe, en a conclu que l'on avait entre k et n la relation $n-1+2k=0$. Toutes les expériences sur le décroissement d'intensité d'action des aimans s'accordent d'ailleurs à montrer que $n=2$; d'où il suit, d'après cette relation, que $k=-\frac{1}{2}$. Aussi M. Ampère avait-il annoncé que telles étaient les valeurs de n et de k qu'il fallait substituer dans sa formule. On peut cependant rendre cette détermination indépendante de l'hypothèse qui assimile les aimans à des assemblages de courans électriques circulaires. Le moyen qui résulte des calculs de M. Savary pour atteindre ce but est déduit d'une expérience de MM. Gay-Lussac et Welter, qui consiste en ce que, si l'on roule en hélice un fil conducteur autour d'un anneau d'acier circulaire, et que l'on fasse passer dans le fil, soit le courant voltaïque, soit une forte décharge électrique, l'anneau se trouve aimanté, mais de manière à ce que ses propriétés sont latentes tant qu'il reste entier. Il n'agit en effet alors que comme un simple morceau de fer ; tandis que, si on le brise, chaque portion devient un aimant dont les poles sont déterminés par le sens du courant électrique. L'an-

neau entier est, dans la théorie de M. Ampère, un assemblage de courans circulaires dont les plans, passant par le centre de l'anneau, sont perpendiculaires à sa circonférence. En appliquant le calcul à ces données, l'auteur du Mémoire dont nous rendons compte trouve qu'en négligeant les puissances du rayon des courans circulaires à partir de la quatrième, l'action de l'anneau sur un élément de courant situé dans l'espace d'une manière quelconque est nulle, si l'on a entre k et n la relation $kn+1=0$, et qu'elle ne peut être nulle qu'en admettant cette relation. Les deux équations $n-1+2k=0$, $kn+1=0$ donnent, pour k et n, ces deux systèmes de valeurs :

$$\left\{\begin{array}{l} k=1 \\ n=-1 \end{array}\right\} \text{ et } \left\{\begin{array}{l} k=-\frac{1}{2} \\ n=2 \end{array}\right\};$$

et comme M. Ampère a prouvé par diverses expériences, entre autres par la répulsion des parties d'un même courant rectiligne, que k est négatif, les valeurs $k=-\frac{1}{2}$, $n=2$ sont les seules admissibles.

Il suffit, pour rendre cette détermination indépendante de toute assimilation entre les courans électriques et les aimans, d'essayer l'action d'un anneau de courans électriques circulaires produits par la pile de Volta, sur un conducteur de forme quelconque, et de s'assurer que cette action est toujours nulle. M. Ampère a trouvé dans les expériences qu'il vient de faire à ce sujet qu'elle est en effet nulle, quel que soit le diamètre de l'anneau; pourvu que celui des courans circulaires dont il est composé soit assez petit par rapport à la distance de cet anneau au conducteur mobile. Cette dernière circonstance a toujours

lieu dans les aimans considérés comme le fait M. Ampère, puisque le diamètre des courans circulaires qu'il y admet est extrêmement petit.

La formule de M. Ampère se trouve ainsi une suite nécessaire des phénomènes observés, tant qu'il n'est question que de l'action mutuelle des conducteurs voltaïques, du moins en admettant que la variation de force due à la seule variation de distance ne dépend que d'une fonction de la forme

$$\frac{A}{r^n};$$

mais pour que l'opinion de M. Ampère sur la constitution des aimans puisse acquérir le genre de preuves que l'état actuel de la physique exige, il faut qu'en partant de cette formule et en l'appliquant aux courans circulaires qu'il admet dans les aimans, on trouve par le calcul des résultats identiques à ceux que donne l'expérience, tant à l'égard de l'action mutuelle de deux aimans qu'à l'égard de celle d'un aimant et d'un conducteur voltaïque. M. Savary, dans le Mémoire dont nous rendons compte, s'est proposé différens rapprochemens de ce genre, sans rien préjuger sur le fond de la question, que des expériences variées et la mesure exacte des forces qui, dans chaque cas, produisent les phénomènes observés peuvent seules décider. Nous allons d'abord exposer les résultats qui montrent quelle analogie et quelle différence existent entre un aimant et un assemblage de courans circulaires situés dans des plans perpendiculaires à la droite qui joint leurs centres, assemblage auquel nous donnerons le nom de *cylindre électro-dynamique*. Un fil conducteur plié en hélice, et dont l'extrémité revient par l'axe

de cette hélice, réalise l'idée que nous venons de donner d'un assemblage de courans électriques circulaires ainsi disposés, parce que le courant qui s'établit alors dans l'axe de l'hélice détruit l'effet dû à l'obliquité des spires, effet qui n'existe pas dans le cylindre électro-dynamique.

M. Pouillet a confirmé, par un grand nombre d'expériences très-précises, un résultat général que M. Biot avait trouvé en 1820, et qui consiste en ce que l'action d'un aimant horizontal sur un fil conducteur vertical et indéfini, se réduit à deux forces dirigées dans le plan horizontal perpendiculairement aux droites qui joignent le fil aux deux poles de l'aimant, et que ces deux forces sont en raison inverse des distances du fil à ces deux poles.

En substituant à l'aimant un cylindre électro-dynamique d'un très-petit diamètre, M. Savary obtient pour les extrémités du cylindre précisément le même résultat qu'on vient d'énoncer pour les poles de l'aimant, et plus généralement que l'action d'un cylindre électro-dynamique sur un élément de courant se réduit à deux forces perpendiculaires à deux plans qui passent tous deux par cet élément, et chacun par l'une des extrémités de l'axe du cylindre. Chaque force est en raison inverse du carré de la distance de l'élément à l'une des extrémités de l'axe du cylindre, et proportionnelle au sinus de l'angle que la droite qui joint l'élément et cette extrémité fait avec la direction du même élément. D'où il suit que, si l'on suppose le cylindre électro-dynamique d'une longueur infinie, son action sur un élément de courant électrique ne dépend que de la position respective de l'élément et de l'extrémité du cylindre que l'on considère, mais nullement de la direction de l'axe du cylindre dans l'espace. Il en est de même

de l'action du même cylindre sur un conducteur d'une forme et d'une grandeur quelconque. Cette action ne dépend que de la position de l'extrémité que l'on considère relativement au conducteur, et reste la même, quelle que soit la direction de l'axe du cylindre. On a supposé dans ce calcul, comme dans les suivans, que le rayon du cylindre électro-dynamique est très-petit.

Coulomb (1), en observant la direction qu'un petit aimant suspendu dans un plan horizontal prend en présence d'un barreau aimanté situé dans le même plan, avait conclu que leur action mutuelle pouvait être représentée par quatre forces agissant en raison inverse du carré de la distance, et dirigées suivant les droites qui joignent deux à deux les poles d'un aimant à ceux de l'autre, du moins quand leurs distances ne sont pas très-petites.

L'auteur du Mémoire trouve qu'en substituant des cylindres électro-dynamiques d'un petit diamètre aux aimans, et les extrémités des premiers aux poles des seconds, on obtient, pour exprimer leur action mutuelle, un résultat exactement semblable, et cela de quelque manière que les cylindres soient dirigés dans l'espace.

M. Biot, en partant de l'hypothèse de Coulomb, a trouvé qu'on représente à très-peu près les inclinaisons de l'aiguille aimantée observées en divers lieux de la surface du globe, en supposant dans le globe deux poles magnétiques très-voisins de son centre.

M. Savary déduit également de la formule de M. Am-

---

(1) Ces résultats, déjà cités page 343, ont été confirmés par les expériences de M. Robinson. *Voyez* son ouvrage intitulé : *Elements of mecanical Philosophy*, publié à Londres par M. le docteur Brewster, chez Murray. 4 vol. in-8.

père la loi d'inclinaison de l'aiguille aimantée, en supposant dans l'équateur ou dans des plans très-voisins de l'équateur magnétique des courans dont le rayon soit assez petit par rapport à celui de la terre. La loi se présente alors sous la forme très-simple que M. Bowditch lui a donnée le premier, savoir, que la tangente de l'inclinaison est double de la tangente de la latitude magnétique.

La conclusion de ces différens résultats est que des cylindres électro-dynamiques agissent, du moins à des distances un peu grandes par rapport à leurs diamètres, comme des aimans dont les poles seraient situés aux extrémités mêmes de ces cylindres.

Voici maintenant quelques résultats du même Mémoire qui se rattachent aux recherches précédentes.

L'action qu'exerce un conducteur rectiligne indéfini situé dans un plan perpendiculaire à celui d'un courant circulaire, pour faire tourner ce courant autour de l'intersection des deux plans, est indépendante de l'inclinaison du conducteur rectiligne sur le plan du courant circulaire, et varie en raison inverse da sa distance au centre de ce dernier courant.

En effet, M. Ampère a observé avec M. Despretz qu'un petit aimant suspendu dans l'angle formé par deux fils conducteurs que les courans parcourent en s'approchant ou en s'éloignant tous deux du sommet, est en équilibre quand son centre est à égale distance des deux fils.

Un courant circulaire tend à faire mouvoir un fil conducteur indéfini parallèle à son plan, de manière que chacun des points de ce fil décrive une circonférence tangente au plan du courant circulaire, suivant le diamètre indéfiniment prolongé qui est parallèle au fil. La force

varie en raison inverse du carré de la distance du fil au centre du courant circulaire. Ce résultat n'est vrai qu'à des distances un peu grandes par rapport au rayon de ce dernier courant.

Le même conducteur rectiligne et indéfini, soumis à l'action d'un cylindre électro-dynamique dont l'axe lui est perpendiculaire, est sollicité, comme on l'a vu un peu plus haut, par deux forces dont chacune tend à lui imprimer un mouvement circulaire autour d'une des extrémités du cylindre. Chaque force est en raison inverse du rayon du cercle qu'elle tend à faire décrire au fil conducteur. Il est facile de voir que, si l'on conçoit par l'axe du cylindre un plan perpendiculaire à ce fil, la résultante des deux forces rencontre le fil à son intersection avec ce plan, et est dirigée suivant le diamètre d'un cercle qui passe par cette intersection et par les deux extrémités du cylindre. On trouve aussi que cette résultante tend à faire prendre au fil un mouvement circulaire autour d'un point situé sur le prolongement de l'axe du cylindre, au-delà de l'extrémité dont le fil se trouve le plus rapproché. Le cercle ainsi décrit par le fil coupe toujours à angle droit la circonférence dont l'axe du cylindre est un diamètre, et dont le plan est perpendiculaire au fil. En effet, lorsque le fil se trouve sur cette circonférence, la résultante lui est évidemment normale et va passer par le milieu de l'axe.

Cette circonférence a cela de remarquable, que de tous ses points le fil n'exerce aucune action pour faire tourner le cylindre autour du milieu de son axe; en sorte que, si d'un point intérieur quelconque ce fil repousse la moitié du cylindre dont il est le plus près, il l'attirera de tous les points extérieurs, et réciproquement.

Lorsqu'on suppose que le fil situé en dehors de cette circonférence limite repousse la portion du cylindre la plus voisine, ce cylindre se trouve dans un état d'équilibre stable quand son axe est perpendiculaire au plan qui passe par son milieu et par le fil. Ce n'est qu'alors, ainsi que M. Pouillet l'a remarqué d'un aimant, qu'en faisant osciller le cylindre supposé horizontal autour de cette position d'équilibre, et plaçant le fil vertical de plus en plus loin du centre de suspension, la force motrice diminue en raison inverse de la distance. Lorsque cette distance est fort grande par rapport à la longueur du cylindre mobile, si l'on plie le fil indéfini de manière que les deux moitiés s'inclinent également de part et d'autre du plan horizontal en formant un angle dont le sommet se trouve dans ce plan, chacune d'elles exerce évidemment la même action pour faire osciller le cylindre; et, d'après le calcul de M. Savary, lorsqu'on regarde la longueur de ce cylindre comme infiniment petite relativement à sa distance au sommet de l'angle, l'action totale est à celle du fil vertical et indéfini dans le rapport de la tangente de la moitié de l'angle d'inclinaison à l'unité.

Enfin, M. Savary a calculé l'action d'un cylindre électro-dynamique, pour faire tourner un fil conducteur mobile autour d'un axe vertical passant par l'extrémité supérieure de ce fil, dans le cas où le cylindre est très-long et où une de ses extrémités se trouve dans l'axe de rotation au niveau de l'extrémité inférieure du conducteur mobile, action qui, d'après ce que nous avons déjà dit, est indépendante de la direction de l'axe du cylindre, et il a trouvé qu'elle est alors en raison inverse du

rayon du cercle décrit par cette même extrémité inférieure du conducteur mobile.

Nous terminerons cet extrait par une observation générale sur l'important Mémoire de M. Savary. Coulomb avait représenté les expériences qu'il avait faites sur la direction que prend une aiguille aimantée par l'action d'un aimant, en admettant deux poles dans chaque particule magnétique, et en supposant entre deux de ces particules les quatre forces dirigées suivant les droites dont nous avons parlé plus haut : telle est la loi de l'action mutuelle de deux aimans. M. Biot, dans le tome XV, pag. 222 et 223 des *Annales de Chimie et de Physique*, a donné celle de l'action mutuelle d'un aimant et d'un conducteur voltaïque rectiligne et indéfini, en supposant de même deux poles dans chaque particule magnétique, et en admettant qu'ils étaient portés par l'action du conducteur dans deux directions opposées perpendiculaires aux plans qui joignent ces poles et l'axe du conducteur, en vertu de forces dont l'intensité était réciproquement proportionnelle aux plus courtes distances entre ces mêmes poles et cet axe. M. Ampère, qui a observé le premier l'action mutuelle de deux conducteurs, avait déterminé par des expériences précises la loi de cette action, dans un Mémoire lu à l'Académie des Sciences le 10 juin 1822 (1), en prouvant que la force qui s'exerce entre deux portions

(1) La formule qui représente cette loi a été d'abord publiée dans la *Bibliothèque universelle*, tom. XX, pages 187 et 188, et depuis, avec les détails des expériences et des calculs sur lesquels elle est fondée, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, tome XX, pages 405-419.

infiniment petites de courans électriques donnés d'intensité, suivant la droite qui en joint les milieux, est, d'après ces expériences, nécessairement proportionnelle à la différentielle du second ordre de la racine carrée de la distance des deux portions infiniment petites, prise en faisant varier séparément et alternativement les deux extrémités de cette distance dans le sens des deux courans électriques, et divisée par la racine carrée de la même distance, et qu'en outre cette force est répulsive quand la valeur de cette différentielle est positive, et attractive dans le cas contraire.

Quelle que fût l'analogie si remarquable et si complète des aimans et des hélices ou cylindres électro-dynamiques imaginés par M. Ampère pour appuyer son opinion sur l'identité de l'électricité et du magnétisme, les trois lois dont nous venons de parler, et qui représentent les trois sortes d'actions, qui s'exercent, la première entre deux aimans, la seconde entre un conducteur voltaïque et un aimant, la troisième entre deux conducteurs, étaient, sous le point de vue mathématique, indépendantes les unes des autres; et il était en outre démontré qu'on ne peut expliquer l'ensemble des phénomènes d'attraction et de répulsion que présentent les conducteurs voltaïques en attribuant leurs propriétés à de petits aimans qu'y produiraient l'action électrique de la pile, de quelque manière qu'on supposât ces aimans disposés, puisqu'on imprime un mouvement de rotation continue, toujours dans le même sens, à une portion de conducteur qui ne forme pas un circuit fermé ou presque fermé, par l'action soit d'un circuit fermé, soit d'un aimant, et qu'il est impossible de produire cette

sorte de mouvement en employant seulement des aimans ou des conducteurs solides (1) formant des circuits fermés. Or, il est évident que les lois données par Coulomb et par M. Biot ne pouvaient être appliquées au calcul de l'action de deux conducteurs, qu'en considérant, pour la première de ces lois, les deux conducteurs comme des assemblages de petits aimans, et qu'en adoptant, pour la seconde, la même supposition à l'égard d'un des deux conducteurs; mais alors comment n'aurait-elle pas lieu pour tous les deux? Cette supposition étant ainsi en opposition avec le fait de la rotation continue, qui est au contraire une conséquence nécessaire de la loi de M. Ampère, il était évidemment impossible de déduire cette dernière loi des deux autres.

Tel était l'état de nos connaissances dans cette branche de la physique, lorsque le travail de M. Savary est venu démontrer que la loi de M. Ampère, appliquée aux courans électriques formant des circuits fermés qu'il admet dans les aimans, reproduit les deux lois de Coulomb et de M. Biot. C'est là un résultat mathématique et indépendant de toute hypothèse : les autres résultats du Mémoire de M. Savary en sont des conséquences qui offrent à la fois une nouvelle vérification de ces mêmes lois et la confirmation la plus complète de l'opinion de M. Ampère sur la constitution des aimans.

(1) On entend ici par cette expression que toutes les parties de la portion de conducteur qui forme un circuit fermé ou presque fermé, sont invariablement liées entre elles, et ne peuvent changer de situation respective; lorsque cette portion est composée de deux ou de plusieurs pièces mobiles séparément, ou qu'elle est formée en tout ou en partie d'un liquide conducteur, le mouvement de rotation continue devient possible. *Voyez*, pour l'éclaircissement des difficultés que peut présenter cette question, ce qui en a été dit pages 234-236.

FIN.

infiniment petites de courans électriques donnés d'intensité, suivant la droite qui en joint les milieux, est, d'après ces expériences, nécessairement proportionnelle à la différentielle du second ordre de la racine carrée de la distance des deux portions infiniment petites, prise en faisant varier séparément et alternativement les deux extrémités de cette distance dans le sens des deux courans électriques, et divisée par la racine carrée de la même distance, et qu'en outre cette force est répulsive quand la valeur de cette différentielle est positive, et attractive dans le cas contraire.

Quelle que fût l'analogie si remarquable et si complète des aimans et des hélices ou cylindres électro-dynamiques imaginés par M. Ampère pour appuyer son opinion sur l'identité de l'électricité et du magnétisme, les trois lois dont nous venons de parler, et qui représentent trois sortes d'actions, dont la première s'exerce entre deux aimans, la seconde entre un conducteur voltaïque et un aimant, la troisième entre deux conducteurs, étaient, sous le point de vue mathématique, indépendantes les unes des autres; et il était en outre démontré qu'on ne peut expliquer l'ensemble des phénomènes d'attraction et de répulsion que présentent les conducteurs voltaïques en attribuant leurs propriétés à de petits aimans qu'y produiraient l'action électrique de la pile, de quelque manière qu'on supposât ces aimans disposés, puisqu'on imprime un mouvement de rotation continue, toujours dans le même sens, à une portion de conducteur qui ne forme pas un circuit fermé ou presque fermé, par l'action soit d'un circuit fermé, soit d'un aimant, et qu'il est impossible de produire cette sorte de mouvement en

employant seulement des aimans ou des conducteurs solides (1) formant des circuits fermés. Or, il est évident que la loi donnée par Coulomb ne pouvait être appliquée au calcul de l'action d'un conducteur et d un aimant ou de deux conducteurs, qu'en considérant, dans le premier cas, le conducteur comme un assemblage de petits aimans, et qu'en adoptant, dans le second, la même supposition à l'égard des deux conducteurs; dans l'un et l'autre cas, on aurait que des actions exprimées en fonction des distances des points entre lesquels on les supposerait agir, et l'accélération du mouvement de rotation continue serait impossible, tandis que cette accélération, constatée par tant d'expériences, résulte également de la loi de M. Biot et de celle de M. Ampère; ces deux lois ne pouvaient donc être déduites de celle de Coulomb.

La loi de M. Biot, donnant la valeur de l'action mutuelle d'un conducteur et d'un aimant, ne pouvait point conduire non plus à celle de M. Ampère relative à l'action de deux conducteurs, puisqu'il aurait fallu, pour qu'on pût l'appliquer à ce dernier cas, considérer l'un des deux conducteurs comme un assemblage de petits aimans sur lesquels l'autre conducteur agirait confor-

(1) On entend ici par cette expression que toutes les parties de la portion de conducteur qui forme un circuit fermé ou presque fermé, sont invariablement liées entre elles, et ne peuvent changer de situation respective; lorsque cette portion est composée de deux ou de plusieurs pièces mobiles séparément, ou qu'elle est formée en tout ou en partie d'un liquide conducteur, le mouvement de rotation continue devient possible. *Voyez*, pour l'éclaircissement des difficultés que peut présenter cette question, ce qui en a été dit pages 234-236.

mément à cette loi, et qu'il était impossible d'admettre cette supposition pour l'un des conducteurs sans l'admettre pour tous les deux, ce qui aurait ramené de nouveau tous les phénomènes électro dynamiques à des actions mutuelles entre des assemblages d'aimans, et aurait, par conséquent, été encore en opposition directe avec le fait de l'accélération du mouvement de rotation continue. La loi de M. Ampère ne pouvait donc pas plus être déduite de celle de M. Biot que de celle de Coulomb. Il restait à savoir si ces deux dernières lois ne pouvaient pas, au contraire, être déduites de la première; la solution de cette question est le principal objet du Mémoire de M. Savary; il y démontre que la loi de M. Ampère, appliquée aux courans électriques formant, dans les aimans, des circuits fermés disposés comme il a été dit plus haut, reproduit les deux lois de Coulomb et de M. Biot. C'est là un résultat mathématique et indépendant de toute hypothèse : les autres résultats du Mémoire de M. Savary en sont des conséquences qui offrent à la fois une nouvelle vérification de ces mêmes lois et la confirmation la plus complète de l'opinion de M. Ampère sur la constitution des aimans.

Pour se faire une idée juste de la manière dont les lois de Coulomb et de M. Biot résultent de celle de M. Ampère, il faut faire attention :

1°. Qu'on y suppose des molécules de deux fluides particuliers auxquels on attribue des propriétés d'attraction et de répulsion semblables à celles des deux fluides électriques, propriétés qui ne sont démontrées à l'égard de ces derniers que parce qu'on peut les séparer en les faisant passer dans des corps différens, ce qu'on ne

peut faire pour les fluides hypothétiques que des analogies plus spécieuses que solides entre les phénomènes magnétiques et ceux que présentent les corps électrisés ont fait admettre dans les aimans. Il faut d'ailleurs supposer ces fluides d'une nature toute différente de celle des fluides électriques, puisque ces derniers, tant qu'ils sont en repos, n'ont aucune action sur les aimans.

2°. Qu'on admet, dans cette manière d'expliquer les phénomènes, que chaque particule d'un barreau aimanté contient une molécule de fluide austral et une molécule de fluide boréal.

3°. Qu'on suppose encore que si l'on conçoit dans le barreau des séries de particules parallèles à son axe, ces séries n'agissent que par les molécules magnétiques d'espèces opposées qui se trouvent à leurs deux extrémités, parce que, dans le reste de la longueur de ces séries, à chaque point où deux particules du barreau se touchent, il se trouve deux molécules magnétiques d'espèces opposées, appartenant l'une à la première de ces particules et l'autre à la seconde, qui se neutralisent mutuellement; tandis que, dans la théorie de M. Ampère, au lieu de ces fluides d'une nature particulière dont rien ne prouve l'existence, on admet :

1°. Que les deux fluides électriques agissent dans chaque particule du barreau d'après les mêmes lois que dans les conducteurs voltaïques, qui n'exercent de même aucune action sur les corps contenant de l'électricité positive ou négative en repos.

2°. Que pour ramener ainsi les phénomènes que présentent les aimans à ceux que l'électricité produit par son mouvement dans les conducteurs voltaïques, il faut

que le même courant électrique qui existe dans ces conducteurs, dans le sens de leur longueur, ait lieu, autour de chaque particule d'un barreau aimanté, dans des plans perpendiculaires à l'axe de ce barreau, en formant ainsi autant de ces assemblages de courans électriques auxquels il a donné le nom de *cylindres électro-dynamiques*, qu'il y a de particules dans le barreau.

3°. Que les cylindres électro-dynamiques de toutes les particules d'une même série parallèles à l'axe du barreau forment par leur réunion un seul cylindre, dont les extrémités se trouvent aux points où, dans l'ancienne hypothèse, on place les deux molécules magnétiques exrêmes de la série; molécules dont on suppose que l'action est la seule qui se manifeste, à cause de la neutralisation qu'on admet, ainsi que nous venons de le dire, entre toutes les autres molécules magnétiques de la même série.

Il n'est plus nécessaire alors de supposer entre les molécules magnétiques des particules d'acier dont se compose une série parallèle à l'axe du barreau, cette neutralisation si difficile à concilier avec la distance que l'ensemble des phénomènes des autres branches de la physique oblige à admettre entre ces particules (1). Dans la manière de voir de M. Ampère, ce ne sont plus les molécules magnétiques situées aux deux extrémités de

(1) On a, à la vérité, cherché à expliquer cette neutralisation des particules magnétiques intermédiaires de chaque série, dont l'action ne se manifeste que lorsqu'on rompt l'aimant, par d'autres considérations, auxquelles on ne peut

la série qui agissent seules : l'action produite est l'intégrale de celles qu'exercent toutes les parties de la longueur du cylindre électro-dynamique correspondant à cette série ; et si cette action semble la résultante de deux forces relatives aux deux extrémités du cylindre, c'est uniquement parce que ces extrémités sont les limites de l'intégrale.

Que devait donc faire M. Savary pour démontrer que les lois de Coulomb et de M. Biot sont des conséquences nécessaires de la formule donnée par M. Ampère pour exprimer l'action mutuelle de deux élémens de courans électriques, et de la manière dont il conçoit que ces courans sont disposés dans les aimans ? Il fallait qu'il démontrât qu'en partant de cette formule, on trouve que les extrémités d'un cylindre électro-dynamique d'un très-petit diamètre doivent présenter précisément les mêmes manières d'agir que Coulomb et M. Biot attribuent aux molécules magnétiques, dont ils regardent l'action comme produisant tous les phénomènes qu'on observe dans les aimans.

Tel est, en effet, le résultat des calculs de M. Savary, lorsqu'on admet que tous les courans électriques d'un même cylindre sont d'égale intensité, et qu'ils sont tous situés dans des plans perpendiculaires à l'axe du cylindre; en sorte que, si les lois de Coulomb et de M. Biot représentaient exactement les phénomènes,

---

pas opposer la même objection, mais qui nous paraissent d'autant moins satisfaisantes qu'elles ne sont pas de nature à être soumises aux procédés du calcul intégral, procédés auxquels nous croyons qu'on doit ramener toutes les questions de ce genre quand on veut s'en faire des idées nettes.

M. Ampère aurait eu tort d'admettre que, dans les aimans, l'intensité des courans d'un même cylindre électro-dynamique peut être différente à différens points de sa longueur, et que les plans de ces courans peuvent être inclinés à la direction de son axe, surtout vers les extrémités de cet axe. Mais, quoique ces lois soient assez d'accord avec les phénomènes pour qu'on ne puisse douter qu'elles déterminent en général la valeur des forces par lesquelles ils sont produits, les résultats des expériences présentent des anomalies qui indiquent ou une variation d'intensité dans les courans électriques des aimans, ou une inclinaison des plans de ces courans sur les axes des cylindres électro-dynamiques formés par leur réunion.

Comme il est impossible de savoir *à priori* si l'intensité des courans varie dans un même cylindre électro-dynamique appartenant à un aimant, s'ils cessent, vers les extrémités du cylindre auquel ils appartiennent, d'être dans des plans perpendiculaires à son axe, on ne peut ni prévoir ni surtout calculer d'avance ces anomalies : c'est par des expériences de mesure précise qu'il faut les déterminer exactement; et ce n'est que quand on l'aura fait qu'il faudra, à l'aide du calcul, voir quelle variation d'intensité ou quelle loi d'inclinaison des courans on doit admettre pour représenter exactement les observations; s'il est nécessaire pour cela d'avoir recours simultanément à ces deux causes d'anomalie, ou s'il suffit d'une des deux pour rendre raison de toutes les différences observées entre les résultats des expériences et ceux des calculs faits sans en tenir compte.

Nous avons vu plus haut les raisons physiques qui s'opposent à ce qu'on puisse remonter de la loi de Coulomb à celle de M. Biot et à celle de M. Ampère, ou déduire cette dernière de celle de M. Biot, quoiqu'en partant de la loi de M. Ampère on reproduise aisément les deux autres. Le Mémoire de M. Savary en montre la raison mathématique; elle consiste en ce que la formule de M. Ampère donne la valeur de l'action élémentaire en expressions différentielles qu'il faut d'abord intégrer pour en déduire la loi de M. Biot, et soumettre ensuite à une nouvelle intégration pour arriver à celle de Coulomb. Dans les deux cas, chacune de ces intégrations se compose de deux autres : la première, pour passer de l'action relative à un élément à celle qui se rapporte à un courant circulaire d'un très-petit diamètre; la seconde, pour avoir l'action relative à un cylindre électro-dynamique formé d'une infinité de courans circulaires. On a o et 2π pour les limites de la première, et la détermination des intégrales définies ne laisse subsister aucune trace de la forme des expressions différentielles, auxquelles on ne peut, par conséquent, plus remonter en partant d'une des lois exprimées par les intégrales. Les limites de la seconde intégration se rapportent, aussi dans les deux cas, aux deux extrémités du cylindre : c'est pour cela que les expressions des forces et des sommes de momens, qui déterminent l'action totale, contiennent toutes deux termes de même forme, mais de signes contraires, dont l'un se rapporte à une des extrémités du cylindre, et l'autre est relatif à son autre extrémité, comme si cette action, au lieu d'être composée d'une infinité

d'actions élémentaires, l'était seulement de deux actions correspondant chacune à un seul de ces termes, et qui émaneraient des deux extrémités d'après une même loi, mais dans des directions opposées; ce qui achève de déguiser la véritable forme de l'action élémentaire représentée par les expressions différentielles.

On voit ainsi pourquoi il est impossible de remonter à la loi de M. Ampère en partant d'une des autres, ou à la loi de M. Biot en partant de celle de Coulomb: on voit en même temps comment la loi de M. Ampère doit donner les deux autres; mais il reste à examiner si l'on peut retrouver la loi de Coulomb en partant de celle de M. Biot. On trouve, dans le Mémoire de M. Savary, tous les calculs nécessaires pour résoudre cette question et pour démontrer que la loi de Coulomb ne peut être regardée comme une suite de celle de M. Biot que quand on adopte l'opinion de M. Ampère sur la constitution des aimans; d'où résulte en faveur de cette opinion une preuve fondée sur le calcul, et qui est cependant tout-à-fait indépendante de la formule de M. Ampère et des expériences qui l'y ont conduit.

Au reste, ce n'est pas de la loi de M. Biot, telle qu'il l'a publiée dans les *Annales de Chimie et de Physique*, tome XV, pages 222 et 223, mais de la forme beaucoup plus générale sous laquelle il a présenté cette loi dans le tome II, page 123, de la seconde édition de son *Précis élémentaire de Physique*, que l'on peut déduire la loi de Coulomb de la manière que nous venons d'indiquer. Lorsque la loi de M. Biot est ainsi généralisée, elle n'est plus d'accord avec les calculs de M. Savary que pour la valeur et la direction de la force; elle en

diffère relativement au point où l'on doit concevoir que cette force est appliquée. Cette différence en produit une dans la valeur du moment de la rotation imprimée à un aimant par un élément de courant électrique autour d'un axe quelconque; mais elle n'influe en rien sur celle du moment total produit par la réunion de tous les élémens d'un circuit solide fermé, parce que les termes qui en résultent disparaissent des intégrales définies, par lesquels cette dernière valeur est exprimée. C'est ce que M. Ampère a démontré, en partant des résultats obtenus par M. Savary, dans un Mémoire qu'il imprime actuellement pour faire suite à ce recueil, et dont les figures sont déjà gravées ici, planche 10; il a aussi discuté, dans ce Mémoire, le cas où le circuit est formé, en partie, d'un conducteur liquide, et celui d'un courant électrique qui ne rentrerait pas sur lui-même. Les courans de cette dernière sorte que nous pouvons produire ne sont qu'instantanés; mais, à en juger par les mouvemens qu'on observe, pendant les aurores boréales, dans les aiguilles aimantées, il n'en est pas de même de ceux auxquels il paraît qu'on doit attribuer ce singulier phénomène.

Relativement aux autres conséquences, confirmées par diverses expériences, qui ont été déduites de sa formule par M. Savary, nous renverrons à l'ouvrage que ce dernier vient de publier sous ce titre : *Mémoire sur l'Application du calcul aux phénomènes électro-dynamiques* (1), ouvrage que doivent consulter tous ceux qui voudront connaître les preuves les plus complètes et les plus irréfragables de la théorie de M. Ampère.

---

(1) A Paris, chez Bachelier, libraire, quai des Augustins, n° 55. *Voyez* aussi le *Journal de Physique*, tome XCVI, pages 1 et suiv.

Extrait *d'une Lettre de M.* Ampère *à M.* Faraday.

Paris, 18 avril 1823.

Monsieur,

Le temps m'ayant manqué pour répondre à la dernière lettre que vous m'avez fait l'honneur de m'écrire avec autant de détail que j'aurais voulu le faire, je me bornerai, dans celle-ci, à tirer des lois que j'ai données pour déterminer toutes les circonstances des phénomènes produits par l'action électro-dynamique, trois conséquences qui ont été vérifiées par des expériences dont il était, en partant de ces lois, facile de prévoir les résultats. Ces résultats, quoiqu'ils soient réellement de nouvelles preuves de ma théorie, pourraient, au premier coup-d'œil, lui paraître opposés; c'est pourquoi j'ai cru devoir commencer par les en déduire.

La première de ces conséquences est relative à un cas de rotation d'un aimant flottant, que vous avez obtenu et que m'a communiqué M. Hachette.

Si j'ai bien conçu cette intéressante expérience, un fil conducteur LOM (pl. 10, fig. 8), plié en fer à cheval et mobile autour de la verticale KO, communique, par son milieu O, avec une des extrémités de la pile que je supposerai l'extrémité positive pour fixer les idées; il plonge en L, M, dans le mercure que contient le vase $CDEF$; dans la même verticale KO se trouve l'axe d'un aimant flottant AB, chargé en B d'un poids de platine BT destiné à maintenir cet aimant dans une situation verticale.

Les choses ainsi disposées, voyons d'abord ce qui doit

arriver d'après ma théorie : un des faits généraux les plus importans sur lesquels elle repose, et qui m'a suggéré l'expérience et les calculs d'après lesquels j'ai déterminé, dans le Mémoire que j'ai lu à l'Académie des Sciences, le 10 juin 1822, ce qui restait d'indéterminé dans la formule par laquelle j'ai représenté l'action qu'exercent l'une sur l'autre deux portions infiniment petites de courans électriques, fait que j'avais déjà annoncé dans la Note que je lus dans la séance publique du 8 avril de la même année, consiste en ce que l'action mutuelle de deux circuits fermés ne peut imprimer à l'un de ces circuits un mouvement de rotation continue, toujours dans le même sens, et qu'ainsi celle de deux assemblages de circuits fermés, de quelque manière qu'ils soient disposés, ne peut jamais produire cette sorte de mouvement. Il ne peut en résulter, dans l'un d'eux, qu'une tendance à prendre une position fixe lorsqu'on le suppose mobile; d'où il suit que si un tel assemblage ne peut que tourner autour d'un axe et que les circuits dont il se compose soient situés symétriquement des deux côtés de cet axe, il n'éprouvera absolument aucune action de la part d'un circuit fermé ou d'un assemblage de circuits fermés. C'est ce qui doit arriver à un aimant assujetti à ne pouvoir que tourner autour de son axe, lorsqu'on le considère comme devant ses propriétés à des courans électriques, et c'est ainsi que j'explique, dans ma théorie, pourquoi on ne peut d'aucune manière lui imprimer un mouvement autour de son axe par l'action d'autres aimans.

Il semble même, au premier coup-d'œil, à cause de la disposition symétrique de tous les courans d'un aimant

relativement à son axe, qu'il est également impossible de le faire tourner autour de cet axe par l'action d'un conducteur voltaïque, puisque les courans de la pile agissent, d'après mes premières expériences, comme ceux des fils conducteurs, et que la pile, réunie à tout le reste du courant électrique qu'elle produit, compose toujours un circuit complètement fermé. C'est en effet ce qui a lieu tant qu'aucune partie de ce dernier circuit ne traverse l'aimant ou n'est liée invariablement avec lui ; nous verrons tout-à-l'heure pourquoi le mouvement de rotation continue, autour de l'axe même de l'aimant, devient possible dans cette dernière circonstance ; il faut auparavant examiner toutes les actions qui s'exercent dans l'appareil que j'ai représenté (pl. 10, fig. 8) lorsque l'aimant *AB* n'est lié à aucune partie du circuit voltaïque composé du conducteur mobile *LOM*, du mercure contenu dans le vase *CDEF*, des deux rhéophores *RP*, *SN* (1) et de la pile *PN*.

Puisque le courant voltaïque va en s'approchant de ceux de l'aimant dans les branches *OL*, *OM*, elles tendront à tourner autour de lui dans le sens opposé à la direction de ces derniers, et il en résulte une réaction sur l'aimant tendant à le faire tourner avec une force égale en sens contraire, c'est-à-dire, dans le sens de ses propres courans ; les courans qui des points *L*, *M* passent

---

(1) Je nomme ainsi les deux fils de cuivre soudés aux deux extrémités de la pile, et qui servent à *porter le courant électrique* dans les appareils destinés à observer l'action mutuelle des diverses portions de ce courant, et celle qui s'exerce entr'elles et le globe terrestre ou un aimant.

dans le mercure, vont au contraire en s'éloignant de ceux de l'aimant : leur action tend donc à faire tourner le mercure autour de lui dans le sens de ses courans, conformément à l'expérience de Sir H. Davy relative à la rotation du mercure, et il en résulte une réaction sur l'aimant qui tend à le faire tourner en sens contraire; enfin, le reste du courant électrique, qui est contenu dans les rhéophores et la pile, agit pour faire tourner l'aimant avec une force égale à la différence des deux actions du fer à cheval *LOM* et du mercure, puisque l'action totale de tout le circuit voltaïque doit être nulle; le tout conformément à une loi générale de la manière d'agir des conducteurs, que vous pouvez voir énoncée dans les premières lignes de la page 161 de mon *Recueil d'observations électro-dynamiques* (1).

Il suit de là que quand rien ne s'oppose à la rotation du fer à cheval *LOM*, il tourne en sens contraire des courans de l'aimant *AB*, que si l'action est assez forte pour vaincre l'inertie du mercure et les frottemens, le mercure tourne aussi, mais dans le sens de ces courans, tandis qu'il ne peut y avoir aucune action pour faire tourner l'aimant tant qu'on ne le lie à aucune partie du circuit voltaïque.

Mais si l'on vient, comme dans votre dernière expérience, à lier l'aimant à la partie mobile *LOM*, ou qu'on y fasse passer une portion du courant, comme dans l'expérience où j'ai obtenu, dans le temps, la rotation continue d'un aimant autour de son axe, alors toute

---

(1) Cette loi est aussi énoncée dans les *Annales de Chimie et de Physique*, tome XVIII, page 373.

action mutuelle entre les élémens d'un système de forme invariable ne pouvant lui imprimer aucun mouvement (1), ce sera comme si l'on avait supprimé du circuit total la portion de ce circuit qui fait corps avec l'aimant; et comme c'était l'action de cette portion qui faisait équilibre à l'action égale et opposée du reste du circuit, celle-ci aura tout son effet et l'aimant tournera en vertu de cette dernière action. Quant au mercure contenu dans le vase *CDEF*, sa tendance à tourner sera la même dans les deux cas, et elle aura ou n'aura pas son effet,

---

(1) Ce principe était admis par tous les physiciens depuis que Newton en avait fait un des trois axiomes sur lesquels il a élevé l'admirable édifice de sa théorie de l'univers, et qu'il a placés à la tête des *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, en l'énonçant en ces termes : *L'action est toujours égale et opposée à la réaction; c'est-à-dire que les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales et dans des directions contraires.*

On ne peut douter que Newton n'entende, en s'exprimant ainsi, que l'action et la réaction sont deux forces égales dirigées en sens contraire suivant une même droite, en sorte que, quand ces deux corps sont liés invariablement, ces deux forces se font équilibre, et qu'il n'en peut résulter aucune sorte de mouvement. Je ne pensais pas d'abord que ce dût être là un objet de controverse, et mes recherches sur les lois de l'action électro-dynamique n'ont point eu d'autre base; je me suis constamment attaché, dans ces recherches, à suivre la marche rigoureuse dont il a donné le premier et le plus parfait modèle, d'une part, en imitant, dans la détermination de l'expression analytique, la force électro-dynamique élémentaire, que j'ai faite d'après des cas d'équilibre observés avec précision, le procédé par lequel on déduit, des lois de Kepler, celle de la gravitation universelle en raison inverse du carré de la distance; de l'autre, en analysant les phénomènes où l'action et la réaction semblaient agir en sens contraire, non pas suivant une même droite, mais suivant deux droites parallèles, de manière à les ramener à des forces

suivant que cette force sera ou ne sera pas suffisante pour vaincre les résistances qui s'opposent à la rotation du mercure. Il est aisé de voir que tout, dans cette expérience, se passe comme dans celle de M. Savary, qui est décrite dans mon *Recueil,* pages 243, 244, et dans les *Annales de Chimie et de Physique,* tome XX, pages 66 et 67 : le mercure y est seulement remplacé par de l'eau acidulée, et l'aimant par une spirale électro-dynamique qui doit, d'après ma théorie, agir précisément comme lui. Il est à remarquer que l'action du reste du circuit, qui produit alors la rotation de l'aimant, étant égale et op-

---

dont l'action fût toujours directement opposée à la réaction. D'autres physiciens ont préféré d'admettre, pour rendre raison des phénomènes électro-dynamiques, des forces qui ne satisfissent pas à cette condition commune à toutes les autres forces de la nature, et qui fussent telles qu'en s'exerçant entre deux corps liés invariablement ensemble, elles imprimassent un mouvement de rotation au système solide résultant de la réunion de ces deux corps.

Si l'on pouvait citer un seul fait qu'on ne pût expliquer autrement, il faudrait bien avoir recours à cette singulière supposition; mais il n'en est pas ainsi, et il suffit, pour s'en convaincre, de suivre les explications que j'ai données de tous ceux qui ont été observés jusqu'à présent, sans renoncer à un des principes fondamentaux de la physique newtonienne, et surtout de consulter les calculs contenus dans le Mémoire de M. Savary cité plus haut, qui ont si complètement justifié ces explications. Ajoutons que les fluides électriques en mouvement dans le circuit voltaïque y sont toujours en même quantité, qu'il n'y entre et qu'il n'en sort ni électricité positive ni électricité négative, en sorte que ce serait bien en vain qu'on croirait pouvoir prévenir cette difficulté en disant que le système solide qu'on suppose ainsi tendre à tourner sur lui-même, ne le fait qu'en vertu d'actions et de réactions exercées en ligne droite, conformément au principe de Newton, entre les molécules électriques et la matière pondérable du système.

posée à celle que *LOM* exerçait sur lui avant qu'on les liât, et celle-ci étant aussi égale et opposée à l'action qu'exerçait en même temps l'aimant pour faire tourner *LOM*, la force qui tend à faire tourner, dans le premier cas, l'aimant et le fer à cheval réunis est de même intensité et de même signe que celle qui tend à faire tourner, dans le second, le fer à cheval seulement; mais le mouvement de rotation doit parvenir plus lentement à l'état uniforme lorsque l'aimant et le fer à cheval sont liés ensemble, parce que la masse à mouvoir est augmentée de toute celle de l'aimant, et sa vitesse doit même rester toujours un peu moindre à cause du frottement entre le mercure et la surface de l'aimant. Il est aisé de voir que cette sorte de mouvement n'aurait pas lieu dans le cas où la portion mobile du circuit voltaïque qu'on lie avec l'aimant, où la portion du courant de ce circuit qui passe par l'aimant dans l'appareil à l'aide duquel j'ai obtenu le mouvement de rotation continue, avait ses deux extrémités dans l'axe, puisqu'il n'y a point d'action entre un aimant et un courant électrique terminé de part et d'autre à l'axe de cet aimant. On voit aisément, à l'aide du calcul, que la force qui produit ce mouvement est à son *maximum* quand la distance des points *L* et *M* diffère peu du diamètre de l'aimant.

La seconde conséquence de ma théorie, sur laquelle j'ai desiré, Monsieur, d'appeler votre attention, consiste en ce qu'un aimant *AB* (planche 10, figure 9), qui a l'un de ses poles dans l'axe de rotation *KO* du fer à cheval *LOM*, tend à le faire tourner dans le même sens, soit qu'il soit placé horizontalement comme en

AB, verticalement comme en *AB'*, ou dans une situation inclinée comme en *AB''*. Non-seulement il est bien aisé de voir que cela est une suite nécessaire de ma manière d'expliquer les propriétés des aimans, mais M. Savary a en outre, dans un Mémoire sur l'application du calcul aux phénomènes électro-dynamiques qui sera bientôt publié, déduit directement ce résultat de la formule par laquelle j'ai représenté l'action mutuelle de deux élémens de conducteurs voltaïques. On ne doit donc pas le regarder, avec un savant physicien anglais, comme une objection contre mon opinion, mais, au contraire, comme une nouvelle preuve en sa faveur.

Les calculs de M. Savary, ainsi que vous l'avez pu voir dans mon *Recueil*, pages 349 et 350, conduisent aussi à ce résultat remarquable, que quand l'aimant est assez long pour qu'on puisse en regarder la longueur comme infinie relativement à la partie mobile *LOM* du conducteur, son action, pour la faire tourner autour de la verticale *KO*, dans laquelle se trouve le pole de l'aimant qui en est le plus près, doit toujours rester la même, quelle que soit la direction de l'aimant.

La troisième conséquence est relative à la manière dont un fil de fer ou plutôt d'acier *AB* (fig. 10) roulé en hélice doit s'aimanter, par l'action d'un courant *CD* qui parcourt un conducteur rectiligne indéfini *CD* parallèle à l'axe de l'hélice, d'après ma manière d'expliquer les phénomènes que présentent les aimans. Si l'on considère sur chacune des spires du fil d'acier les deux points *P*, *Q*, où la surface cylindrique qu'elles forment est touchée par deux plans passant par *CD* et tangens à cette surface, la moitié *PMQ* d'une spire, qui est comprise entre ces deux points

du côté du conducteur, s'aimantera comme on le voit dans la figure, de manière que son pole austral sera en *P* et son pole boréal en *Q*, tandis que la moitié *QNP′* de la même spire qui est comprise entre les points *Q* et *P* du côté opposé au conducteur *CD* s'aimantera de manière que son pole boréal sera en *Q* et son pole austral en *P′*; en sorte que le long des deux côtés du cylindre où sa surface est touchée par les deux plans tangens dont j'ai parlé tout-à-l'heure, il y aura en *P*, *P′*, *P″*, etc., une suite de points conséquens ayant les propriétés du pole austral d'un aimant, et en *Q*, *Q′*, *Q″*, etc., une suite de points conséquens ayant les propriétés d'un pole boréal; tandis que si le conducteur passait dans l'intérieur de l'hélice de fil d'acier, tous les points de ce fil devraient être aimantés dans le même sens, sans points conséquens, et avec un pole austral en *A* et un pole boréal en *B*.

Dans ce dernier cas, il n'y a de poles qu'aux extrémités de l'hélice en fil d'acier, et pour se faire une idée nette des propriétés qu'elle doit présenter, il faut concevoir que les petits courans électriques d'une pareille hélice sont, d'après ma théorie, dans des plans qui forment avec son axe des angles d'autant plus petits que le pas des spires de l'hélice a moins de hauteur, et que, si l'on projette les circonférences qu'ils décrivent sur des plans perpendiculaires à l'axe de l'hélice, chaque courant circulaire donnera sur un de ces plans un courant elliptique L'ensemble de ces projections devra agir sensiblement comme si ces ellipses étaient des cercles d'un plus petit diamètre que les circonférences décrites par les courans du fil, c'est-à-dire, comme un aimant; les

projections sur deux plans rectangulaires perpendiculaires entr'eux et passant par l'axe seront aussi des ellipses dont les arcs infiniment petits pourront être projetés parallèlement et perpendiculairement à l'axe suivant de petites droites où la direction des courans sera, dans un sens, pour chaque demi-ellipse, et, en sens contraire, pour chacune des autres demi-ellipses, dont la réunion avec une des premières forme une ellipse entière, en sorte que leurs effets devront se neutraliser presque complètement ; l'action totale sera donc sensiblement celle d'un aimant, ainsi que l'a trouvé M. de La Borne, en faisant des expériences avec une hélice en fil de fer non recuit, et propre par conséquent à conserver les propriétés magnétiques qu'il avait acquises par l'action d'un fil conducteur placé dans l'axe de l'hélice, et par lequel M. de La Borne avait fait passer le courant électrique instantané d'une bouteille de Leyde (1).

Je n'ai point répété ses expériences sur ce sujet ; mais l'on ne peut guère douter, d'après ce qu'il dit des résul-

---

(1) « J'ai formé, dit ce jeune physicien, avec un fil de » fer non recuit, une hélice autour d'un tube de verre ; j'ai » fait passer le fil qui devait communiquer avec les deux » armures d'une bouteille de Leyde, par l'axe de cette hé- » lice. Alors chaque élément de l'hélice se trouvait à la » même distance du fil de décharge et à-peu-près perpendi- » culairement à ce dernier. Il résultait de là qu'en faisant » passer une décharge par le fil situé dans l'axe, toutes les » parties de l'hélice devaient se trouver aimantées à la fois, de » sorte que, développant l'hélice, on devait trouver le pole » austral à une des extrémités et le pole boréal à l'autre. » Considérant que le fil ployé en hélice a une direction géné- » rale dans le sens de l'axe, on pouvait penser que cette

tats qu'elles lui ont donnés, que l'action des hélices en fil de fer ou d'acier aimantées de cette manière ne soit en tous points telle qu'elle doit être d'après ma théorie, comme dans le cas où l'on aimante les mêmes hélices avec un conducteur toujours parallèle à leur axe, mais placé en dehors de ces hélices. Il me semble qu'il suffirait d'examiner avec l'attention convenable la manière dont cette théorie rend raison des phénomènes qu'on observe lorsqu'on fait agir les uns sur les autres les conducteurs voltaïques rectilignes ou circulaires, les hélices formées avec ces conducteurs, les aimans et les hélices de fils d'acier aimantés par un conducteur voltaïque placé, 1°. au dedans de ces hélices, 2°. au dehors des mêmes hélices, pour qu'il ne restât plus de doute sur ce qu'elle exprime le véritable étât des choses.

Vous me disiez avec grande raison, Monsieur, dans votre dernière lettre, que d'autres physiciens avaient proposé des théories différentes de la mienne qu'ils avaient annoncées comme devant rendre raison non-seulement des phénomènes déjà découverts, mais de ceux qu'on devait découvrir par la suite, et que cette prédiction de leur part ayant été complètement démen-

---

» hélice serait magnétique, et dans le même sens que le fil » développé. Ces résultats ont eu lieu en effet... Une telle » hélice présente le cas singulier d'un aimant flexible, élastique, qu'on peut ployer, allonger, accourcir, et qui, » suivant la théorie généralement admise, doit cesser d'agir » comme aimant sur une aiguille de boussole, si, en joignant les deux extrémités, on en forme un anneau : c'est » en effet ce qui arrive, du moins sensiblement. Une hélice » ainsi ployée s'arme d'elle-même : c'est un moyen de lui » faire conserver son magnétisme. » (*Annales de Chimie et de Physique*, tome XVI, pages 194 et 195.)

tie, principalement par le fait du mouvement de rotation continue qui est en contradiction avec ces théories, vous hésitiez à adopter la mienne, dans l'appréhension qu'il ne lui arrivât à son tour la même chose; en approuvant entièrement cette sage réserve de votre part, je vous prierai cependant de me permettre une observation qui me paraît de quelque importance. Il y a près de trois ans que j'ai conçu ma théorie : j'en ai publié tous les principes dans les conclusions du Mémoire que j'ai lu à l'Académie royale des Sciences, le 25 septembre 1820. Depuis, de nouveaux phénomènes que je ne pouvais prévoir ont été découverts par divers physiciens : bien loin de se trouver en opposition avec ma théorie, ils en ont tous offert de nouvelles preuves, ou plutôt des conséquences nécessaires qu'elle aurait pu prévoir d'avance. N'est-ce pas le cas de dire avec le philosophe de Rome : *Opinionum commenta delet dies, naturæ judicia confirmat.*

M. Seebeck vient de produire le courant électrique par l'influence de la différence de température des points de contact entre deux sortes de métaux dont on forme un circuit fermé. M. OErsted, qui est actuellement à Paris, vient de communiquer à notre Académie des expériences où il a agrandi considérablement le domaine de ces expériences, en multipliant le nombre des contacts entre l'antimoine et le bismuth, et les alternatives de chaud et de froid dans ces contacts. Il a trouvé : 1°. que dans cette pile, qu'il a nommée *thermo-électrique*, la tension est extrêmement faible; en sorte que le courant ne s'établit que parce que la conductibilité d'un circuit tout métallique est très-grande; 2°. qu'à cause

de cette faiblesse de la tension électrique produite par ce moyen, on n'observe pas d'élévation sensible de température, même dans les fils conducteurs les plus fins; 3°. que l'intensité du courant dans des circuits de même étendue croît, à la vérité, avec le nombre des contacts des deux métaux, tenus alternativement à deux températures différentes, mais qu'elle diminue pour un même nombre de ces contacts à mesure que le circuit devient plus long, précisément en raison inverse de sa longueur. Ces faits relatifs à un nouveau moyen de développer l'électricité semblaient devoir rester indépendans de ma théorie; et cependant combien n'y sont-ils pas favorables, 1°. en montrant, dans des circuits entièrement métalliques, comme je suppose ceux des particules des aimans, l'existence de courans électriques produits par une force électro-motrice très-faible, parce que la résistance opposée par un circuit tout métallique est aussi très-faible; 2°. en nous apprenant que les alternatives de chaud et de froid des contacts sont une cause du développement de l'électricité dynamique qui ne peut manquer d'avoir lieu entre les différens matériaux de notre globe à mesure que le soleil fait varier la température des diverses régions qu'il parcourt successivement, et cela principalement dans celles sur lesquelles il agit avec le plus de force; 3°. en nous indiquant, dans ces mêmes variations journalières de la température, la cause des variations diurnes de la déclinaison et de l'inclinaison d'une aiguille aimantée; 4°. en détruisant l'objection qu'on m'avait faite sur ce que la température des aimans où j'admets des courans électriques n'est pas plus

élevée que celle des autres corps ; 5°. en montrant que la force électro-motrice des courans électriques des aimans peut être très-faible et ces courans avoir une très-grande intensité, puisque cette intensité croît, pour une même action électro-motrice, à mesure que la longueur du circuit diminue, en raison inverse de cette longueur, et que la longueur des circuits que j'admets autour de chaque particule d'un aimant ne peut être qu'extrêmement petite !

Voilà, Monsieur, les observations que je vous soumets à la hâte, partagé que je suis entre une foule d'occupations obligées qui ne me laissent pas le temps de m'occuper, comme je le voudrais, de cette nouvelle branche de physique à laquelle je desirerais donner tout mon temps ; elle vous doit la découverte d'un des plus singuliers phénomènes dont elle se compose, celle du mouvement de rotation continu ; elle en attend bien d'autres de votre part, qui finiront sans doute par faire adopter généralement une théorie qui réunit en sa faveur les démonstrations de l'expérience et celles du calcul : théorie que je ne peux m'attribuer que parce que j'en ai eu le premier l'idée ; car elle est une conséquence si naturelle des faits, qu'elle n'aurait sans doute pas tardé à être imaginée par d'autres si je ne m'étais pas occupé de ce sujet.

J'ai l'honneur d'être, etc.

TABLE

DES ARTICLES CONTENUS DANS CE VOLUME.

I[er] Mémoire. De l'Action exercée sur un courant électrique par un autre courant, le globe terrestre ou un aimant. (Lu à l'Académie royale des Sciences, dans les séances des 18 et 25 septembre et 2 octobre 1820; publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, t. XV, pag 59-76 et 170-218.) Pag. 3

Note sur les Expériences électro-magnétiques de MM. OErsted, Ampère, Arago et Biot. (Publiée dans les *Annales des Mines*, tome v, pages 535-558.) 69

Lettre à M. Berthollet sur l'Etat magnétique des corps qui transmettent un courant d'électricité, par M. Berzelius. (Publiée dans les *Annales de Chimie et de Physique*, tome xvi, pages 113-119.) 93

Lettre de M. Ampère à M. Arago. (*Annales de Chimie et de Physique*, tome xvi, pages 119-129.) 99

Notice sur les Expériences électro-magnétiques de MM. Ampère et Arago, lue à la séance publique de l'Académie royale des Sciences de Paris, le 2 avril 1821. (*Bibliothèque universelle*, tome xvii, pages 16-20.) 109

Lettre de M. Ampère à M. Erman, secrétaire de l'Académie royale des Sciences de Berlin. (*Bibliothèque universelle*, tome xvii, pages 183-191; et *Journal de Physique*, tome xcii, pages 304-309.) 113

Extrait d'une Lettre de Sir H. Davy à M. Ampère. (*Bibliothèque universelle*, tome xvii, page 191.) 120

Extrait d'une Lettre de M. Ampère à M. le professeur de La Rive. (*Bibliothèque universelle*, p. 192-194.) 121

Mémoire sur les Mouvemens électro-magnétiques et la Théorie du magnétisme, par M. Faraday; traduit par M. Anatole-Riffault. (*Annales de Chimie et de Physique*, t. XVIII, pag. 337-370.) 125

Notes relatives au Mémoire de M. Faraday, par MM. Savary et Ampère. (*Annales de Chimie et de Physique*, t. XVIII, pag. 370-379.) 158

Réponse de M. Ampère à une Lettre de M. le professeur Van-Beek sur une nouvelle expérience électro-magnétique. (*Journal de Physique*, tome XCIII, pages 447-467.) 169

Exposé sommaire des nouvelles expériences électro-magnétiques faites par différens physiciens depuis le mois de mars 1821, lu dans la séance publique de l'Académie royale des Sciences, le 8 avril 1822. (*Journal de Physique*, tome XCIV, pages 61-66.) 199

Notes sur cet Exposé. 207

Expériences relatives aux nouveaux phénomènes électro-dynamiques obtenus par M. Ampère au mois de décembre 1821. (Extrait des Notices lues à l'Académie royale des Sciences, dans les séances des 3 et 10 décembre 1821, et 7 janvier 1822; publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, tome XX, pages 60-74; et dans la *Bibliothèque universelle*, tome XX, pages 173-185.) 237

Extrait d'une Lettre de M. Ampère à M. le professeur de La Rive sur des expériences électro-dynamiques, et sur la formule qui représente l'action mutuelle de deux portions infiniment petites de courans électriques. (*Bibliothèque universelle*, tome XX, pages 185-192.) 252

De l'Action qu'exerce la terre sur les conducteurs voltaïques. 259

Mémoire sur l'Action qu'exerce le globe terrestre sur une portion mobile du circuit voltaïque, par M. de La Rive fils. (Lu à la Société de Physique et d'Histoire naturelle

de Genève, le 4 septembre 1822; publié dans la *Bibliothèque universelle*, tome XXI, pages 29-48, et dans les *Annales de Chimie et de Physique*, tome XXI, pages 24-48.) 262

Addition au Mémoire précédent par M. Ampère. (*Annales de Chimie et de Physique*, tom. XXI, pages 48-53.) 286

IIme MÉMOIRE. Sur la Détermination de la formule qui représente l'action mutuelle de deux portions infiniment petites de conducteurs voltaïques. (Lu à l'Académie royale des Sciences, le 10 juin 1822; publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, tome XX, pages 398-419.) 293

Extrait d'une Note additionnelle au Mémoire précédent, lue à l'Académie royale des Sciences, le 24 juin. (*Annales de Chimie et de Physique*, tome XX, pages 419-421.) 316

Extrait d'un Mémoire présenté à l'Académie royale des Sciences, dans la séance du 16 septembre 1822. (*Bulletin de la Société philomatique*, livraison d'octobre 1822, pages 145-147.) 319

Exposé méthodique des phénomènes électro-dynamiques et des lois de ces phénomènes. (*Bulletin de la Société philomatique*, livraison de novembre 1822, pages 177-183, et avec plusieurs additions, *Journal de Physique*, t. XCV, pages 248-257.) 325

Extrait fait par M. Savary du Mémoire qu'il a lu à l'Académie royale des Sciences, le 3 février 1823. (*Annales de Chimie et de Physique*, tome XXII, pages 91-100.) 345

Observation additionnelle par M. Ampère. 354

FIN DE LA TABLE.

ERRATA.

Page 47, ligne 4, *au lieu de*, au nord dans le premier cas, et en bas dans le second; *lisez*, au nord quand le conducteur mobile était d'abord horizontal, et en bas quand il était placé d'abord dans un plan vertical perpendiculaire au méridien magnétique.

Page 82, ligne dernière, *au lieu de*, page 225; *lisez*, page 223.

Page 90, ligne 19, *au lieu de*, petit aimant; *lisez*, conducteur mobile.

Même page, lig. 21 et 22, *au lieu de*, le conducteur mobile; *lisez*, ce conducteur.

Page 109, ligne 2, *au lieu de*, à; *lisez*, à la.

Page 117, ligne 13, *après le mot*: magnétisme; *ajoutez*, et.

Page 158, ligne 4, *au lieu de*, 4; *lisez*, 11.

Page 161, lignes dernières, *au lieu de*, la Bibliothèque universelle, tome XVI, page 318, art. 3; *lisez*, les Annales des Mines, tome V, page 550, et dans ce Recueil, page 84.

Page 164, ligne 18, *au lieu de*, pages 537-558; *lisez*, pages 535-558.

Page 167, ligne 22, *au lieu de*, planche 3, figures 20 et 23; *lisez*, planche 8, figure 1.

Même page, ligne 23, *au lieu de*, pages 331-333; *lisez*, page 238; l'usage en est expliqué page 241.

Page 186, ligne dernière, *au lieu de*, pages 557, 558; *lisez*, pages 552 et 553.

Page 208, ligne 18, *au lieu de*, page 537; *lisez*, page 535.

Page 252, ligne 2, *au lieu de*, électro-magnétiques; *lisez*, électro-dynamiques et sur la formule qui représente l'action mutuelle de deux portions infiniment petites de courans électriques. Paris, 12 juin 1822.

Page 255, lignes 1 et 7, le signe — a été oublié devant les formules, *au lieu de*, h dans ces formules; *lisez*, *h*.

Même page, ligne 22, *au lieu de*, (fig. 14); *lisez*, (pl. 6, fig. 24).

Page 257, ligne 1, *au lieu de*, (fig. 15); *lisez*, (fig. 25).

Page 258, ligne 17, *au lieu de*, (figure 16); *lisez*, (fig. 19).

Page 284, ligne 6, *au lieu de*, qu'on observe dans un point fixe d'un courant; *lisez*, d'un point fixe, qu'on observe dans un courant.

Page 286, ligne 26, *au lieu de*, 1820; *lisez*, 1821.

Page 317, ligne 20, *au lieu de*, conductuur; *lisez*, conducteur.

Page 331, ligne 15; et page 342, ligne 13, *au lieu de*, Welther; *lisez* Welter.

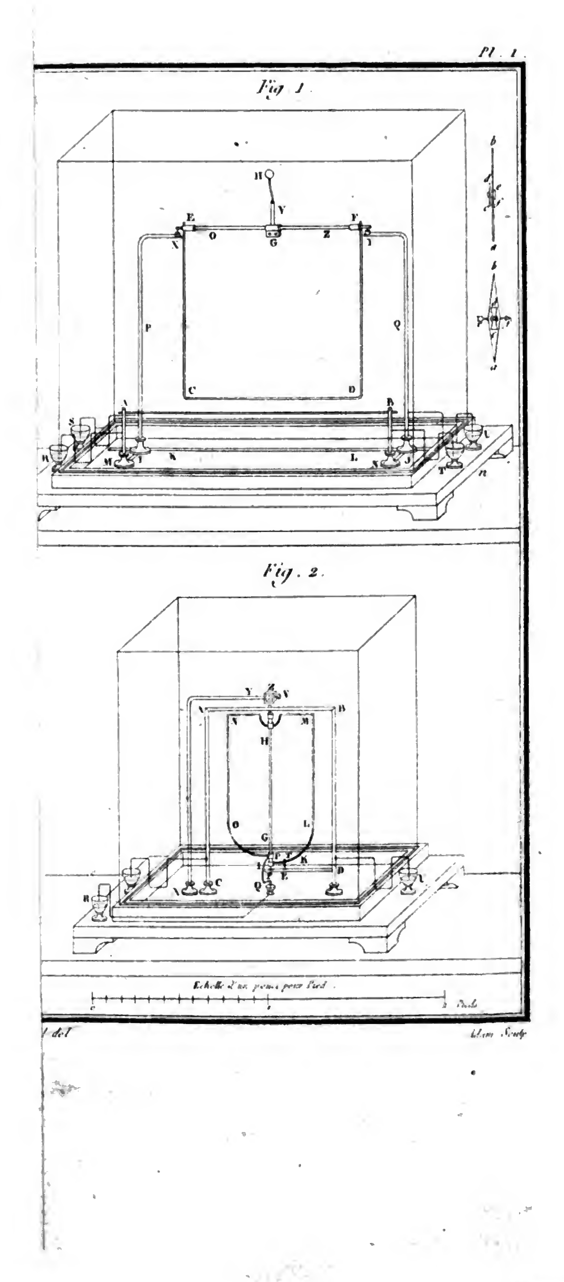
Page 327, ligne 24, *après* 161; *ajoutez*, 185.

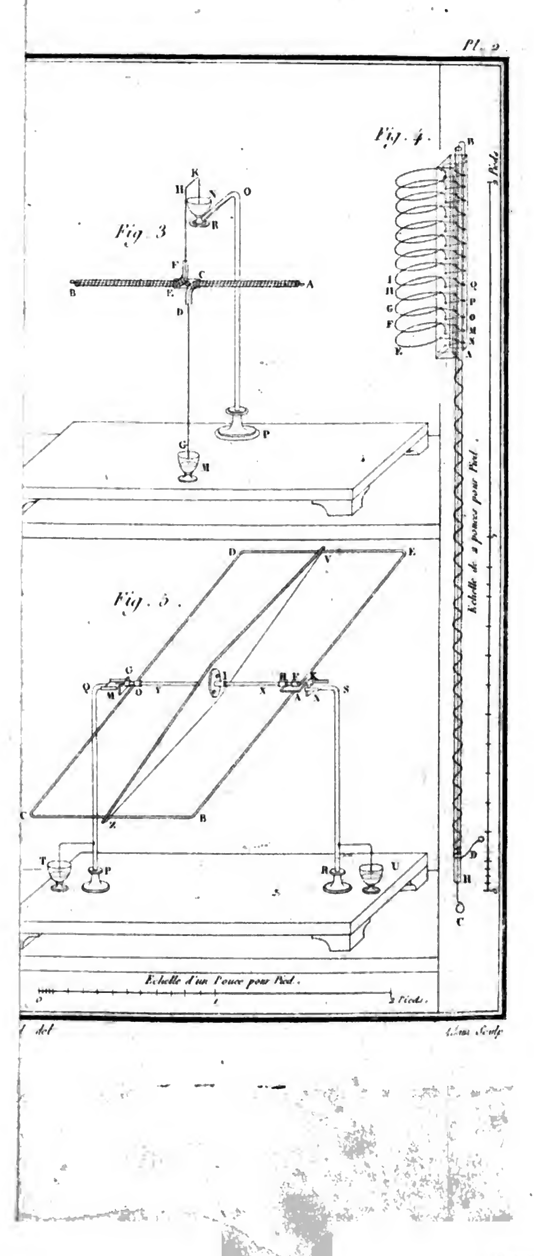
Page 292, ligne 9, *au lieu de* ST ; *lisez*, JT.
Même page, ligne 6 de la note, *au lieu de sq* ; lisez, *tq*.
Page 369, ligne 20 de la note, *au lieu de* analytique, la force électro-dynamique ; *lisez*, analytique de la force électro-dynamique.

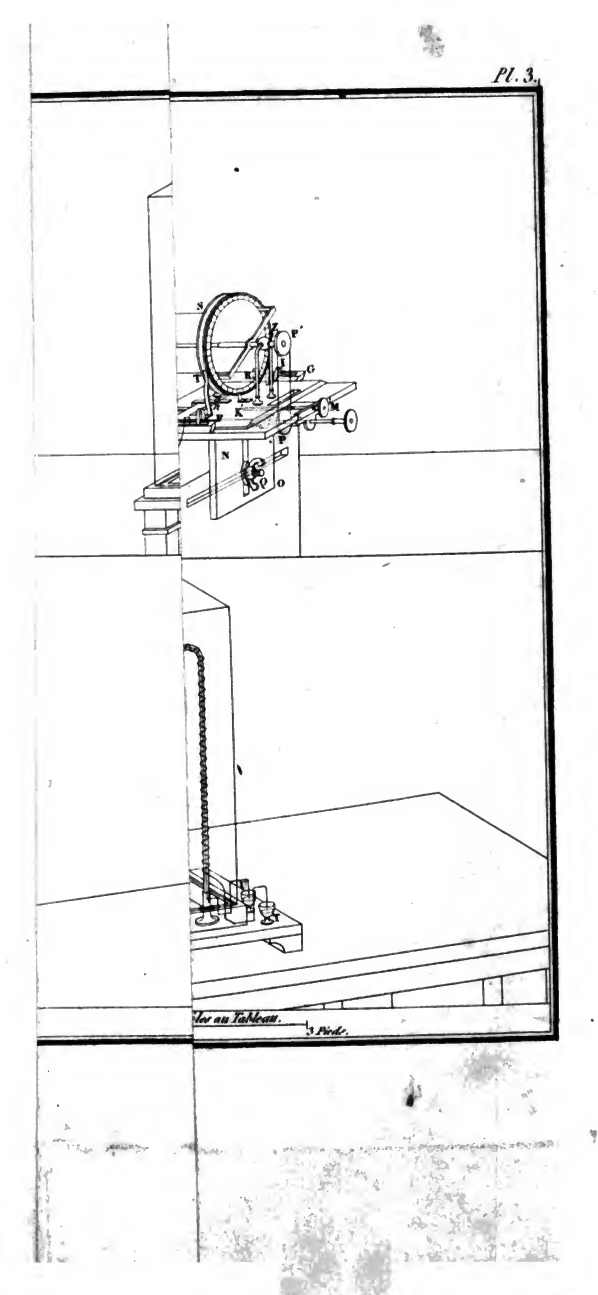
Les trois pages précédentes, au lieu des numéros 358, 359, 360, devraient porter les numéros 380, 381, 382.

A la fin de la table, page 381, marquée mal à propos page 359, il faut ajouter l'article suivant : Extrait d'une lettre de M. Ampère à M. Faraday. (*Annales de Chimie et de Physique*, tome XXII, pages 389-400.) 365




Fig. 1.
Fig. 2.
Echelle d'un pouce pour Pied.
del.
Sculp.


Fig. 3
Fig. 4.
Fig. 5.
Echelle de 2 pouces pour Pied.
3 Pieds
Echelle d'un Pouce pour Pied.
0
1
2 Pieds.
del
Sculp


S
Z
P'
G
T
K
M
P
N
Q
O
T
...les au Tableau.
3 Pieds.

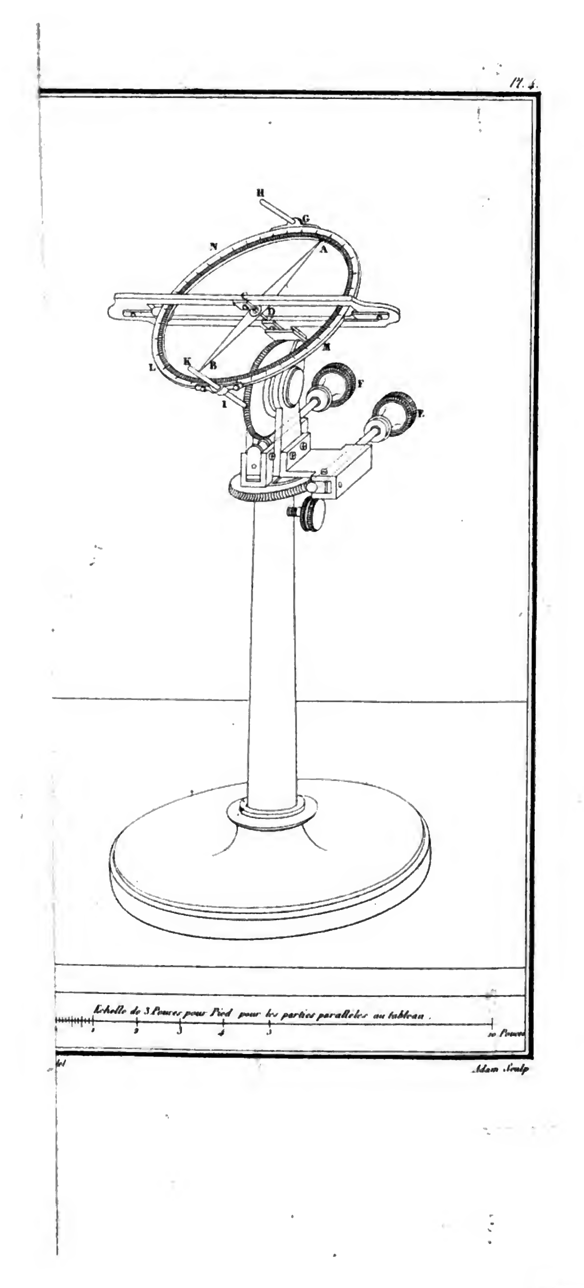

H
G
N
A
C
D
M
K
B
L
I
F
E
Echelle de 3 Pouces pour Pied pour les parties parallèles au tableau.
1
2
3
4
5
10 Pouces
del
Adam Sculp

Fig. 10.

Fig. 9.

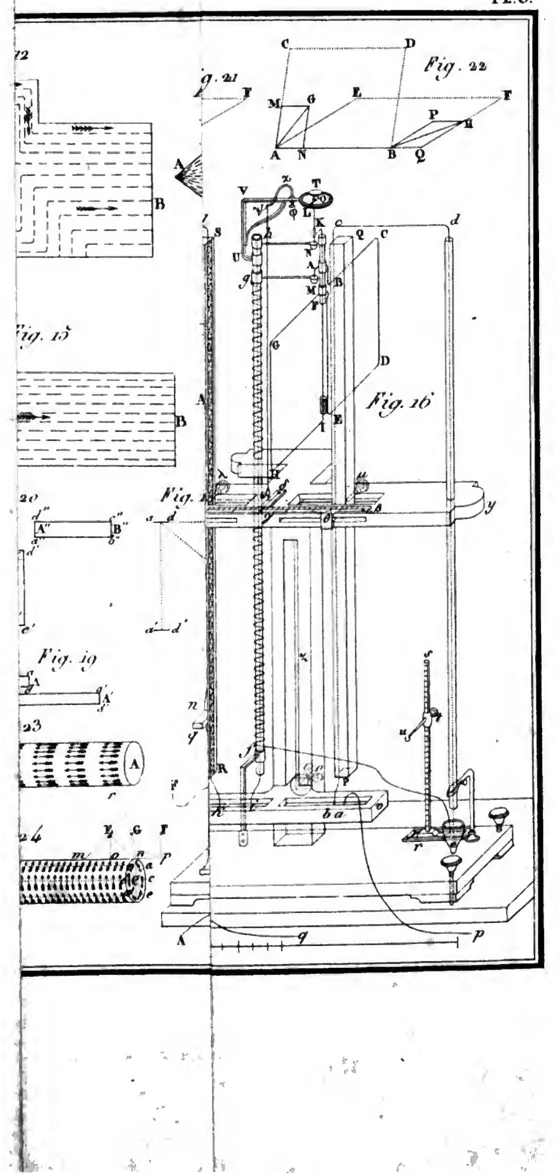
Fig. 11.

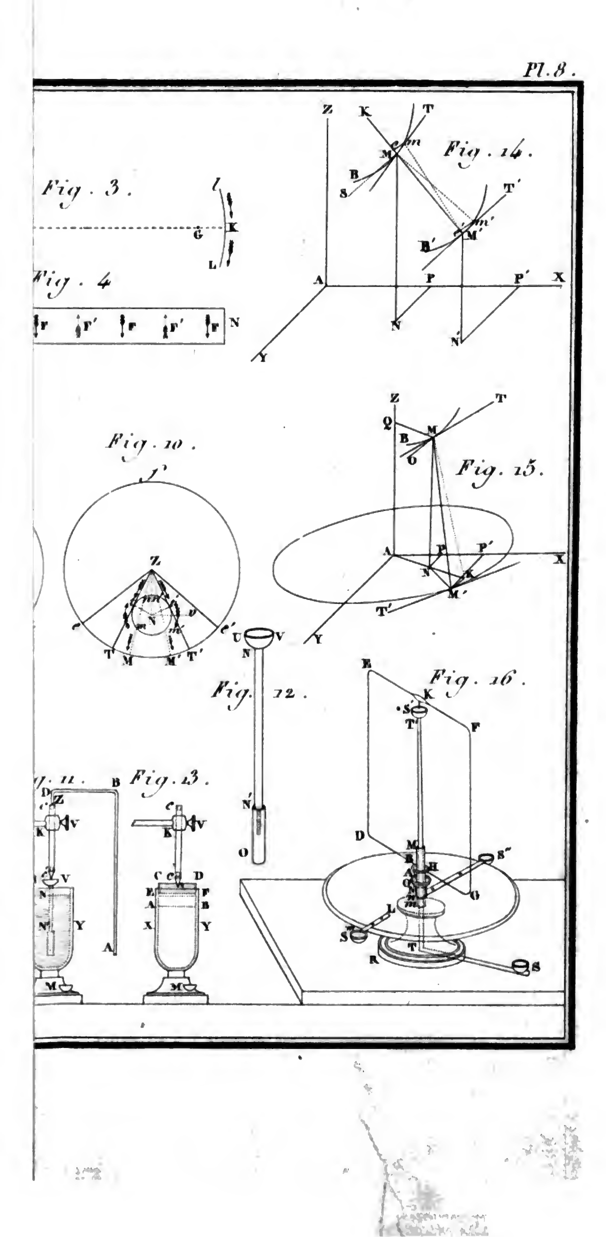
Echelle d'un pouce pour Pied.

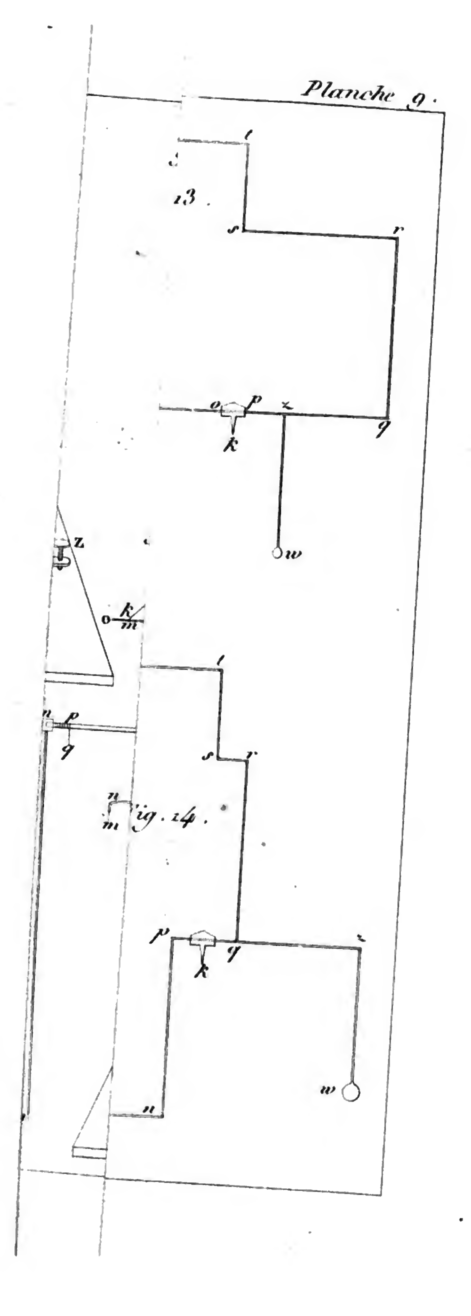
0 1 2 Pieds

del. Adam Sculp.

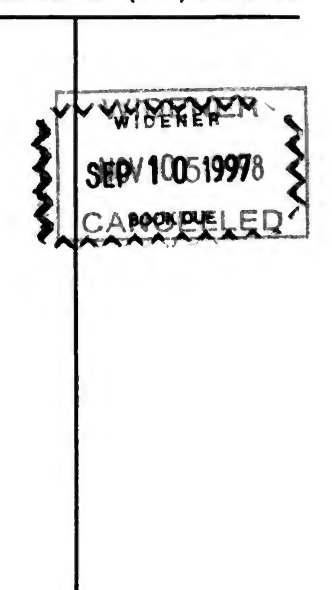
Pl. 6.




Pl. 8.
Fig. 3.
Fig. 4
Fig. 10.
g. 11.
Fig. 12.
Fig. 13.
Fig. 14.
Fig. 15.
Fig. 16.


Planche 9.
13.
t
s
r
o
p
z
q
k
w
z
o
k
m
t
s
r
n
p
q
ig. 14.
p
k
q
z
w
n


3 2044 010 470 565


WIDENER
BOOK DUE
CANCELLED



